



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ

Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune

Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015

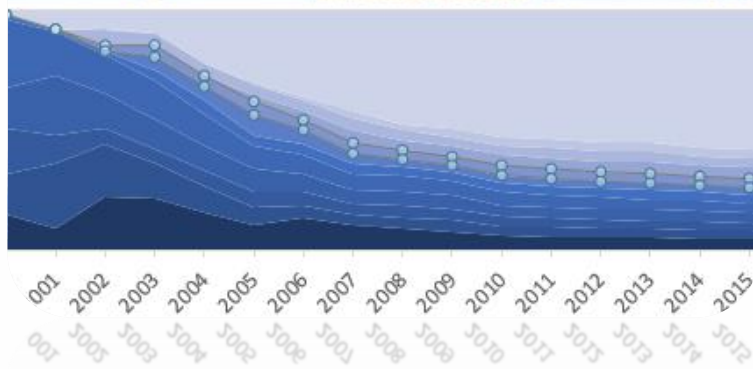
Juin 2017 – Actualisé en septembre 2017 |

LPO France

Préserver

Protéger

Eduquer



Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune

Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015

Juin 2017 – Actualisé en septembre 2017 |

LPO France

Rédaction :

Geoffroy MARX

Service SEPN

Cette étude a bénéficié des financements suivants dans le cadre du programme éolien et biodiversité.



Table des matières

CONTEXTE	11
INTRODUCTION	12
1 LE PARC EOLIEN FRANÇAIS	14
1.1 Données agrégées	14
1.2 Evolution du nombre d'éoliennes.....	14
1.3 Taille des parcs éoliens	15
1.4 Gabarit des machines	17
1.5 Comparaison avec d'autres pays	19
1.6 Répartition des éoliennes sur le territoire français.....	21
1.7 Habitats concernés	22
1.8 Eoliennes et ZPS	24
2 LES SUIVIS REALISES	27
2.1 Réglementation applicable aux suivis.....	27
2.2 Données agrégées	28
2.3 Robustesse des suivis de mortalité.....	29
2.3.1 Nombre d'éoliennes suivies	30
2.3.2 Surface prospectée	30
2.3.3 Durée des suivis	33
2.3.4 Fréquence de prospection	34
2.3.5 Reconduction des suivis	35
2.3.6 Robustesse des suivis en fonction de la localisation des parcs.....	36
2.4 Lacunes et limites	36
2.4.1 Distribution géographique des données	36
2.4.2 Distribution temporelle des suivis dans l'année	37
2.4.3 Exploitabilité des rapports	38
3 LA MORTALITE CONSTATEE	39
3.1 Nombre de carcasses retrouvées.....	39
3.2 Espèces impactées.....	42
3.2.1 Classification par ordres et par familles	42
3.2.2 Statut de protection et état de conservation	43
3.2.3 Espèces d'oiseaux les plus retrouvées	44
3.3 Espèces dont aucun cas de mortalité n'a été rapporté en France.....	52
3.3.1 Cas particulier de la Grue cendrée	52
3.3.2 Autres espèces impactées en Europe	54

4	L'ESTIMATION DE LA MORTALITE REELLE.....	56
4.1	Généralités.....	56
4.2	Discussion	57
4.3	Comparaison avec d'autres pays	59
4.3.1	Canada	59
4.3.2	Etats-Unis	60
4.3.3	Espagne	60
5	LES FACTEURS D'IMPACTS	62
5.1	Gabarit des machines	62
5.2	Distribution temporelle des découvertes.....	63
5.3	Type d'habitat CORINE Land Cover	65
5.3.1	Influence sur le nombre de cadavres retrouvés.....	65
5.3.2	Influence sur les espèces impactées	66
5.4	Proximité des ZPS	69
5.4.1	Influence sur le nombre de cadavres retrouvés.....	69
5.4.2	Influence sur les espèces impactées	70
6	CONCLUSIONS.....	73
6.1	Les parcs	73
6.2	Les suivis réalisés.....	74
6.3	Le nombre de cas de collisions	74
6.4	Les espèces impactées	75
6.5	Préconisations d'implantation	75
6.6	Réhabilitation des parcs en fin de vie	76
6.7	Protocole de suivi	77
	BIBLIOGRAPHIE.....	79
	ANNEXE I : CAS DE MORTALITE D'OISEAUX IMPUTABLES AUX EOLIENNES CONSTATES EN FRANCE	81
	ANNEXE II : LISTE DES SUIVIS AYANT ETE COMPILES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE	83
	ANNEXE III : LECTURE DES DIAGRAMMES EN BOITE	91

Table des illustrations

Figure 1 : Estimation de l'évolution du nombre d'éoliennes en France	15
Figure 2 : Distribution de la taille des parcs éoliens en France (avril 2016).....	16
Figure 3 : Evolution du gabarit moyen des éoliennes implantées en France de 2000 à 2015	17
Figure 4 : Hauteur totale des éoliennes en fonction de la distance aux ZPS	18
Figure 5 : Hauteur totale des éoliennes en fonction du type d'habitat	18
Figure 6 : Puissance éolienne installée dans le monde au 31/12/2016 [MW].....	19
Figure 7 : Densité d'éoliennes installée dans le monde au 31/12/2016 [MW/1 000 km ²].....	20
Figure 8 : Le gisement éolien français [m/s]. Source : Ademe, novembre 2015	21
Figure 9 : Localisation des parcs éoliens français au 1er avril 2016.....	22
Figure 10 : Evolution de l'occupation biophysique des sols par les éoliennes.....	23
Figure 11 : Evolution du nombre d'éoliennes en ZPS.....	25
Figure 12 : Evolution cumulée de la distance d'implantation des éoliennes par rapport aux ZPS	26
Figure 13 : Nombre de parcs dont le suivi de mortalité est disponible	28
Figure 14 : Nombre d'éoliennes concernées par les rapports de suivis agrégés	29
Figure 15 : Répartition des suivis en fonction du pourcentage d'éoliennes prospectées	30
Figure 16 : Surface théoriquement et réellement prospectée sous chaque éolienne	31
Figure 17 : Distance de découverte des cadavres par rapport à l'éolienne la plus proche	32
Figure 18 : distance de découverte des cadavres d'oiseaux en fonction de la longueur des pales.....	32
Figure 19 : Représentation graphique de la prospection (André, 2009).....	33
Figure 20 : Durée des suivis de mortalité en semaines.....	34
Figure 21 : Nombre de prospections par semaines	35
Figure 22 : Durée des suivis en années	35
Figure 23 : Carte des suivis disponibles par département	37
Figure 24 : Répartition des 37 839 prospections dans l'année	38
Figure 25 : Nombre de cadavres par prospection / Nombre de cadavres par année de suivi.....	41
Figure 26 : Classification par ordres et familles des cadavres d'oiseaux	42
Figure 27 : Statut de protection et état de conservation des principales espèces retrouvées	44
Figure 28 : Semaines de découverte des Roitelets à triple bandeau	45
Figure 29 : Semaines de découverte des Martinets noirs.....	46
Figure 30 : Semaines de découverte des Faucons crécerelles	46
Figure 31 : Semaines de découverte des Mouettes rieuses.....	47
Figure 32 : Semaines de découverte des Alouettes des champs	47
Figure 33 : Semaines de découverte des Buses variables	48
Figure 34 : Semaines de découverte des Rougegorges familiers.....	48
Figure 35 : Semaines de découverte des Faucons crécerelletes	49
Figure 36 : Semaines de découverte des Milans noirs	50
Figure 37 : Semaines de découverte des Milans royaux	50
Figure 38 : Semaines de découverte des Busards cendrés	51
Figure 39 : Semaines de découverte des Eperviers d'Europe	51
Figure 40 : Principale voie de migration des Grues cendrées	53
Figure 41 : SRE de Champagne-Ardenne - voies de migration des Grues cendrées (2012).....	54
Figure 42 : Estimation de la mortalité réelle dans les rapports de suivi de mortalité	58
Figure 43 : Influence du gabarit des éoliennes sur la mortalité constatée	62
Figure 44 : Distribution temporelle des découvertes des cadavres.....	64
Figure 45 : Nombre de cadavres retrouvés et type d'habitat CORINE Land Cover	66
Figure 46 : Localisation des cadavres en fonction du type d'habitat	67
Figure 47 : Nombre de cadavres retrouvés en fonction de la distance aux ZPS	69
Figure 48 : Nombre de cadavres par éolienne et par an en fonction de la distance aux ZPS	70
Figure 49 : Nombre de cadavres appartenant à des espèces inscrites à l'Annexe I de la DO.....	71

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des 10 plus grands parcs européens	20
Tableau 2 : Répartition des éoliennes en ZPS suivant les régions de France métropolitaine (données avril 2016).....	24
Tableau 3 : Niveau de prospection en fonction de la localisation des parcs	36
Tableau 4 : Quelques espèces dont des cadavres ont été retrouvés ailleurs en Europe.....	55
Tableau 5 : Espèces patrimoniales retrouvées principalement dans les champs.....	67
Tableau 6 : Espèces patrimoniales retrouvées principalement en dehors des champs	68

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
CPIE	Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EDF-SEI	Électricité de France - Systèmes Energétiques Insulaires
EWEA	European Wind Energy Association
GWEC	Global Wind Energy Council
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
LPO	Ligue pour la Protection des Oiseaux
MEEM	Ministère de l'Environnement de l'Énergie et de la Mer
MNHN	Museum National d'Histoire Naturelle
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
PPE	Programmation Pluriannuelle de l'Énergie
RTE	Réseau de Transport d'Electricité
S3REnR	Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables
SEO	Société Espagnole d'Ornithologie
SEOF	Société d'Etudes Ornithologiques de France
SFEPM	Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Energie
SRE	Schéma Régional Eolien
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
ZDE	Zone de Développement de l'Eolien
ZICO	Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale
ZSC	Zone Spéciale de Conservation

Contexte

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte publiée au Journal Officiel du 18 août 2015, ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent visent à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement. Elle fixe des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, reposant sur une baisse de la consommation d'énergies, en particulier d'origine fossile, et un recours accru aux énergies renouvelables. Les éoliennes terrestres et en mer, faiblement émettrices de gaz à effet de serre et ayant de faibles impacts sur les compartiments air, sol et eau (Ademe, 2016), vont contribuer à atteindre ces objectifs.

Ces éoliennes, dont le nombre pourrait doubler à l'horizon 2023, ne sont toutefois pas dénuées d'impacts potentiels sur la biodiversité, en particulier sur les habitats et les vertébrés volants. **Cette étude s'intéresse spécifiquement à la mortalité directe par collision des oiseaux avec les éoliennes** ; elle vise à mieux cerner cet impact dans le contexte spécifique du développement du parc éolien français depuis la fin des années 90 et à proposer des mesures permettant une meilleure intégration environnementale des parcs éoliens terrestres.

A terme, ce travail mériterait d'être complété par une étude des autres impacts potentiels des éoliennes (dérangement, altération des habitats, mortalité des chauves-souris, etc.). Il gagnerait également à être étendu aux autres sources de production d'énergie (fossiles, fissiles et autres énergies renouvelables) qui peuvent elles aussi avoir des impacts sur la biodiversité.

Introduction

Les publications internationales traitant de l'éolien, de ses impacts potentiels sur la biodiversité et des mesures permettant de les réduire sont nombreuses. La bibliographie du programme national éolien et biodiversité¹ en recense ainsi 737 issues d'une trentaine de pays dont 323 concernent directement la France.

Parmi ces 323 références, 197 correspondent à des suivis environnementaux réalisés sur des parcs éoliens terrestres en exploitation en France (suivis des habitats, de l'activité des vertébrés volants ou de la mortalité). Les autres documents correspondent à des guides de cadrage, des études techniques ou stratégiques ou traitent d'autres thématiques comme l'éolien en mer.

Toutefois, à l'heure actuelle, peu d'études traitent de l'impact cumulé des éoliennes françaises à l'échelle de plusieurs parcs. On peut toutefois noter la « Synthèse des impacts de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs en Champagne-Ardenne » (Soufflot J - LPO, 2010) ou l'effort de mutualisation réalisé dans le cadre du « Programme de suivi éolien-biodiversité 2010-2016 en région Centre » porté par la CDC Biodiversité, la région Centre et le programme national éolien et biodiversité en collaboration avec plusieurs associations naturalistes locales (Eure-et-Loir Nature, Loiret Nature Environnement, Loir-et-Cher Nature).

Si certaines études étrangères, en particulier en Amérique du nord ou en Espagne, se sont déjà intéressées à l'estimation de la mortalité due aux éoliennes à l'échelle d'un pays, ce travail n'a pas encore été réalisé en France où plus de 5 000 éoliennes ont été mises en service depuis 1997, nombre qui pourrait être amené à doubler d'ici la fin de 2023 pour atteindre les objectifs de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE).

Depuis 2015, la LPO a entrepris de compiler l'ensemble des suivis environnementaux réalisés sur les parcs éoliens français afin de mieux comprendre les modalités de suivi mises en œuvre, d'approfondir les connaissances sur les facteurs d'impact et d'offrir une meilleure vision des impacts du parc éolien français dans sa globalité sur les oiseaux.

Une compilation de suivis a également fait l'objet d'un rapport de stage réalisé au Service du Patrimoine Naturel du Muséum national d'Histoire naturelle (Coly, 2015). Cette étude portait à l'époque sur 52 suivis et avait vocation à évaluer les possibilités d'exploitation de ces données pour estimer l'impact sur les chiroptères.

En plus de ce travail de compilation de suivis engagé auprès des DREAL, il a été nécessaire de constituer une base de données des parcs éoliens français incluant, en particulier, les coordonnées géographiques, le gabarit et la date de mise en service de chacune des éoliennes, aucune base de données unifiée n'existant à ce jour. Pour ce faire, les données disponibles dans le Catalogue Interministériel de Données Géographiques² ont été complétées par celles fournies par les DREAL et croisées avec les informations du site Internet The Wind Power³. Les coordonnées de chacune des éoliennes ont ensuite été systématiquement vérifiées et parfois affinées manuellement à l'aide du logiciel QGIS lorsque les photos aériennes étaient suffisamment récentes.

Au final, les données récoltées permettent de décrire assez précisément :

¹ <http://eolien-biodiversite.com/ressources/article/ressources-bibliographiques>

² <http://catalogue.geo-ide.developpement-durable.gouv.fr>

³ <http://www.thewindpower.net>

- **les parcs éoliens français** et les éoliennes qui les composent (coordonnées, hauteur du mât, longueur de pale, date de mise en service, puissance unitaire, etc.) ;
- **les suivis qui ont été réalisés** (parcs concernés, nombre d'éoliennes suivies, type de suivi réalisé, dates de début et de fin, nombre de semaines couvertes, nombre de prospections réalisées sur cette période, surface prospectée, largeur de transect, etc.) ;
- **les cas de mortalité directe qui ont été constatés** (parc et suivi concerné, espèce, date de découverte, distance par rapport à l'éolienne la plus proche) ;
- **l'estimation de la mortalité réelle** pour les quelques parcs ayant fait l'objet des suivis les plus robustes.

Ces données peuvent ensuite être croisées avec différentes couches d'informations géographiques : localisation des Zones de Protection Spéciales (ZPS) et des Zones Spéciales de Conservation (ZSC), classification CORINE Land Cover 2012, etc. Chaque cadastre peut donc être relié, en théorie, à ses modalités de découverte et aux caractéristiques du parc et du territoire où il a été trouvé, le but étant de réussir à estimer la mortalité directe des oiseaux due aux éoliennes françaises et à identifier les facteurs d'impacts.

Dans le cadre de cette étude, centrée sur la mortalité directe des oiseaux par collision avec les éoliennes, une attention particulière est portée aux ZPS créées en application de la directive européenne 79/409/CEE relative à la conservation des oiseaux sauvages (plus connue sous le nom Directive Oiseaux). La détermination de ces zones de protection spéciale s'appuie sur l'inventaire scientifique des ZICO (zones importantes pour la conservation des oiseaux) dressé en France par la LPO⁴ suivant un ensemble de critères définis à un niveau international, en particulier en fonction des aires de distribution des espèces mentionnées à l'annexe I de la Directive Oiseaux. Cette annexe liste les espèces qui doivent bénéficier de mesures de protection spéciales de leur habitat. Ce sont les espèces menacées de disparition, les espèces vulnérables à certaines modifications de leur habitat, les espèces considérées comme rares (population faible ou répartition locale restreinte), et les espèces nécessitant une attention particulière à cause de la spécificité de leur habitat, ainsi que les espèces migratrices dont la venue est régulière.

Les ZPS sont des zones jugées particulièrement importantes pour la conservation des oiseaux au sein de l'Union européenne, que ce soit pour leur reproduction, leur alimentation ou leur migration. Les ZPS sont intégrées au réseau européen de sites écologiques appelé Natura 2000 et ont pour but d'assurer un bon état de conservation des espèces d'oiseaux menacées, vulnérables ou rares.

⁴ La LPO ([Ligue pour la protection des oiseaux](#)) est le représentant officiel de BirdLife international pour la [France](#), depuis 1993.

1 Le parc éolien français

1.1 Données agrégées

La source la plus fiable sur les raccordements des parcs éoliens en France est le tableau de bord publié chaque trimestre par le Commissariat général au développement durable⁵. Malheureusement, cette publication, fondée sur les données de RTE, Enedis, EDF-SEI et les entreprises locales de distribution, n'indique que :

- le nombre d' « installations » raccordées, c'est-à-dire le nombre de parcs éoliens entendus comme « société d'exploitation » (il peut tout aussi bien s'agir d'une éolienne isolée que d'un parc de 6 éoliennes) ;
- la puissance totale raccordée en mégawatts (MW) et la répartition par région ;
- les données de production agrégées, en térawattheures (TWh).

Ces données ne précisent ni le nombre d'éoliennes raccordées au réseau ni leur localisation précise.

Les recherches effectuées dans le catalogue interministériel de données géographiques, auprès des DREAL et sur le site Internet de The Wind Power ont abouti au recensement de l'ensemble des parcs puis des éoliennes en exploitation sur le territoire français métropolitain en avril 2016. A cela s'ajoutent 1 017 autres éoliennes ayant obtenu leurs autorisations de construire et d'exploiter, mais non encore construites.

Les données obtenues sont les suivantes :

- coordonnées précises des 5 156 éoliennes en exploitation en avril 2016 ainsi que de 1 017 autres éoliennes pour lesquelles un permis de construire a été accordé mais non encore construites (soit un total de 6 173 éoliennes) ;
- date de mise en service de 5 120 éoliennes (99,3 % des éoliennes déjà en service) ;
- gabarit (hauteur de mât et longueur de pale) de 4 217 éoliennes, soit 68,3 % des 6 173 machines (et 100 % des éoliennes pour lesquelles nous disposons de rapports de suivi de mortalité).

A chaque éolienne a été attribué un type d'habitat (base de données CORINE Land Cover 2012).

Chaque éolienne est également positionnée par rapport à la zone de protection spéciale (ZPS)⁶ la plus proche (distance en mètres).

1.2 Evolution du nombre d'éoliennes

Au 31 décembre 2016, la France comptait environ 5 760 éoliennes en exploitation pour une puissance totale installée de 11 722 MW⁵. La majeure partie de ces éoliennes a été construite entre 2000 et 2016, le réel essor de la filière ayant débuté en 2005 avec la loi POPE⁷ qui instaure une obligation d'achat pour les éoliennes implantées en zone de développement éolien (ZDE). Les ZDE étaient en premier lieu des éléments de planification pour le réseau électrique : elles ont été supprimées en 2013, la planification régionale étant alors définie dans les Schémas

⁵ Commissariat général au développement durable, [Tableau de bord : éolien](#) - Quatrième trimestre 2016. Datalab essentiel n° 90 - Février 2017.

⁶ Les zones de protection spéciale (ZPS) sont créées en application de la directive européenne 79/409/CEE, plus connue sous le nom directive oiseaux.

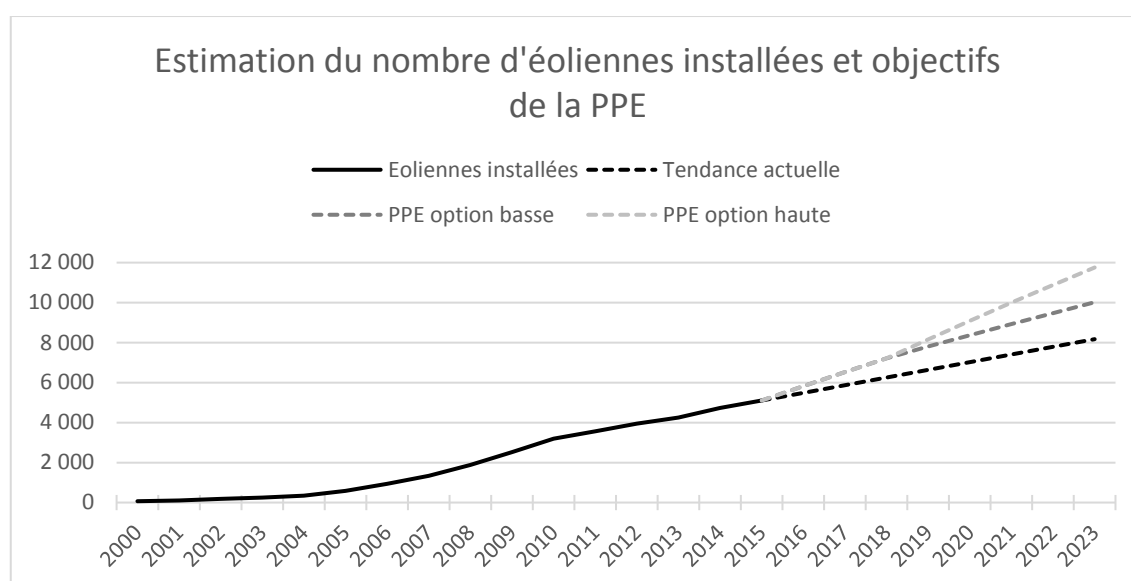
⁷ LOI n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

Régionaux de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables (S3REnR), en coordination avec les Schémas Régionaux Eoliens (SRE) annexés aux Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE).

La loi NOTRe⁸ du 7 août 2015, vise à remplacer ces SRCAE, dont certains ont été annulés suite à des recours juridiques, par des schémas régionaux d'aménagement et de développement durable du territoire (SRADDT).

Pour l'éolien terrestre, le Décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) fait état d'un objectif de développement de 15 000 MW à l'horizon 2018 et entre 21 800 MW et 26 000 MW à l'horizon 2023. Au regard de la puissance unitaire moyenne des éoliennes et de son évolution, cela correspond à doubler le nombre d'éoliennes terrestres entre fin 2015 et fin 2023 pour atteindre 10 000 à 12 000 éoliennes.

Figure 1 : Estimation de l'évolution du nombre d'éoliennes en France



Notons qu'il s'agit là d'objectifs non contraignants. Par ailleurs, ces objectifs ne sont pas accompagnés de moyens nouveaux qui permettraient de garantir leur réalisation. Dans ces conditions il est peu probable que le nombre d'éoliennes implantées chaque année dévie de la trajectoire actuelle et dépasse donc 8 000 éoliennes en 2023 (Figure 1).

Au regard de la durée nécessaire au développement et à la construction d'un parc éolien en France, il est intéressant de souligner que la quasi-totalité des parcs qui seront mis en service d'ici 2023 sont déjà initiés. Pour certains, les autorisations sont même déjà accordées mais les parcs non encore construits.

A plus long terme, l'Ademe⁹ et l'association NegaWatt¹⁰ ont par ailleurs évalué la faisabilité technique d'un mix électrique 100 % renouvelable à l'horizon 2050. Le scénario de l'association NegaWatt prévoit ainsi la possibilité d'implanter 18 000 éoliennes terrestres à cette échéance.

1.3 Taille des parcs éoliens

Pour évaluer le nombre d'éoliennes constituant les différents parcs il convient d'aller au-delà de la définition strictement administrative des permis de construire ou des autorisations d'exploiter

⁸ LOI n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République

⁹ <http://www.ademe.fr/mix-electrique-100-renouvelable-analyses-optimisations>

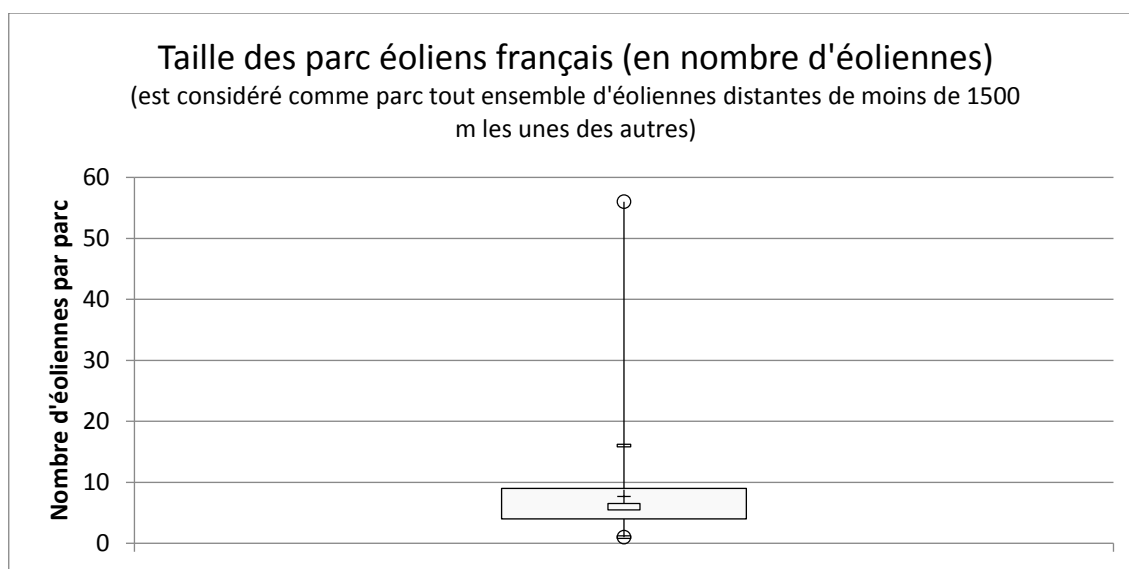
¹⁰ <http://www.negawatt.org>

au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), un même ensemble visuel d'éoliennes pouvant être constitué de plusieurs sociétés d'exploitation.

Si l'on considère comme un parc tout ensemble d'éoliennes distantes de moins de 1 500 m les unes des autres, alors les 6 175 éoliennes construites ou disposant des autorisations de construire et d'exploiter en avril 2016 sont réparties en 802 parcs constitués en moyenne de 7,7 machines (Figure 2).

La moitié de ces 802 parcs est constituée 6 machines ou moins. Les trois quarts sont constitués de 9 éoliennes ou moins. Et seul 6,7 % des parcs sont accueillent plus de 16 éoliennes.

Figure 2 : Distribution de la taille des parcs éoliens en France (avril 2016)



Note : se référer à l'Annexe III page 91 pour la lecture des diagrammes en boîte.

Le plus grand ensemble éolien, constitué de 56 éoliennes, se trouve dans les grandes plaines champenoises. Il s'agit du groupement de deux parcs de 30 et 26 éoliennes distants de 1 350 m.

Le plus grand ensemble éolien situé hors territoire agricole est composé de 4 sociétés d'exploitations réunissant 32 machines de « petit » gabarit (mât de 57 m et pales de 35 m) implantées majoritairement en végétation sclérophylle (forêts, terres boisées et broussailles méditerranéennes) dans l'Aude.

Le plus grand ensemble éolien situé en ZPS est composé de 30 éoliennes. La ZPS concernée – Beauce et vallée de la Conie – s'étend sur 62 communes d'Eure-et-Loir et du Loiret (71 753 ha) et est couverte à 80 % par des terres arables. Cette ZPS accueille, en tout, 6 groupes d'éoliennes pour un total de 73 machines, soit 29 % des 252 éoliennes implantées en ZPS à ce jour. Notons toutefois que pour ces 30 éoliennes – ainsi que pour la majeure partie des 43 autres – l'obtention des autorisations de construire et d'exploiter est antérieure à la désignation de ce territoire en ZPS (mais postérieure à sa désignation en ZICO¹¹).

¹¹ Zone importante pour la conservation des oiseaux.

1.4 Gabarit des machines

Début 2016, sur l'ensemble du parc éolien français, la hauteur moyenne des éoliennes en bout de pale est de 120 m (80 m de tour et 40 m de pale) avec un écart type de 21,7.

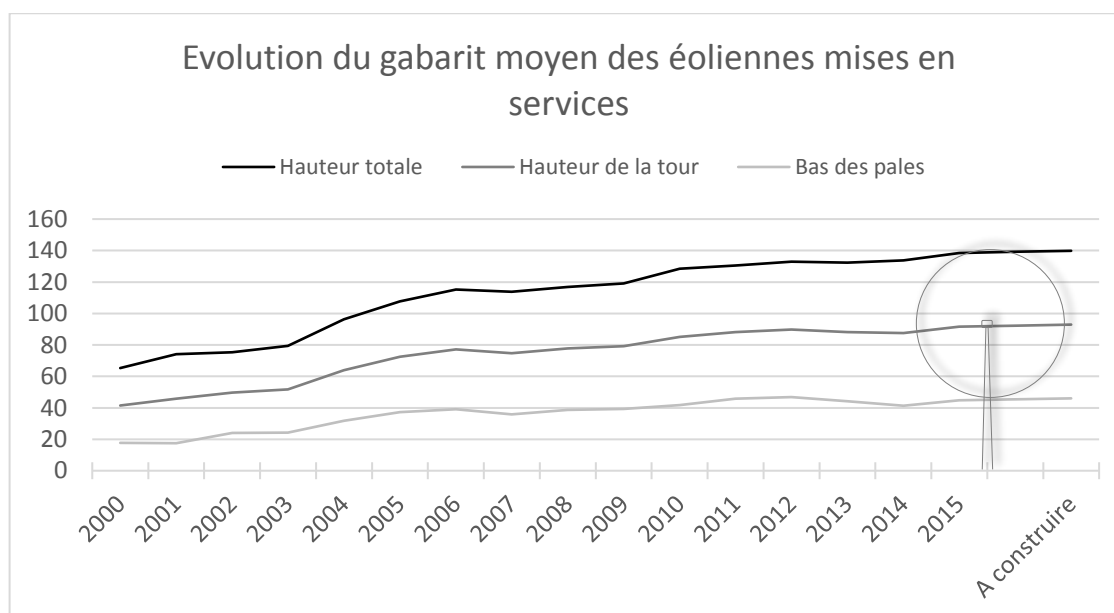
La plus grande éolienne actuellement en service est l'éolienne maritime Haliade 150 d'Alstom Power qui culmine à 176 m d'altitude. Elle est actuellement en phase de test sur la commune de Frossay (44). Mise à part cette singularité, aucune éolienne construite ou accordée ne dépasse 160 m de haut. Il existe toutefois plusieurs projets avec des éoliennes de 180 m et au moins un, dans les Ardennes, avec des éoliennes de 200 m de haut.

La taille des éoliennes a plus que doublé entre 2000 et 2015 (x 2,1) pour atteindre, en moyenne, 139 m en bout de pale pour les éoliennes érigées en 2015 (Figure 3). La surface moyenne balayée par le rotor a, elle, été multipliée par 3,3 pour passer de 2 064 m² à 6 888 m².

La vitesse de rotation du rotor a diminué au fur et à mesure que les pales s'allongeaient ; il en découle une vitesse linéaire en bout de pale relativement stable avec le temps.

Jusqu'en 2006, c'est principalement l'augmentation de la hauteur des mâts qui a contribué à l'augmentation du gabarit des machines, il en a donc résulté une élévation du bas des pales. Depuis 2006, l'augmentation de la hauteur des mâts s'accompagne également d'un accroissement de la longueur des pales, ceci explique que la hauteur du bas des pales reste relativement stable depuis cette époque.

Figure 3 : Evolution du gabarit moyen des éoliennes implantées en France de 2000 à 2015



On note que le type d'habitat et la proximité des ZPS sont corrélés avec le gabarit des éoliennes. Ainsi la hauteur totale moyenne est de 126 m pour les éoliennes implantées en plein champs à plus de 1 000 m d'une ZPS, mais de seulement 94 m pour les éoliennes situées à moins de 1 000 m d'une ZPS en dehors des plaines agricoles, soit une différence de 32 m en moyenne (Figure 4 et Figure 5).

Figure 4 : Hauteur totale des éoliennes en fonction de la distance aux ZPS

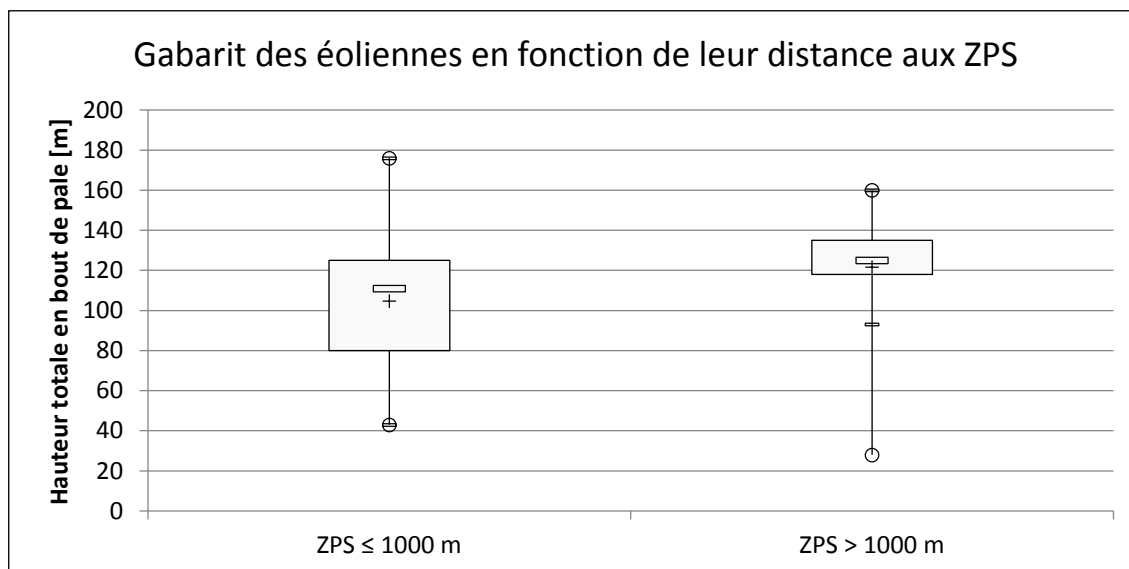
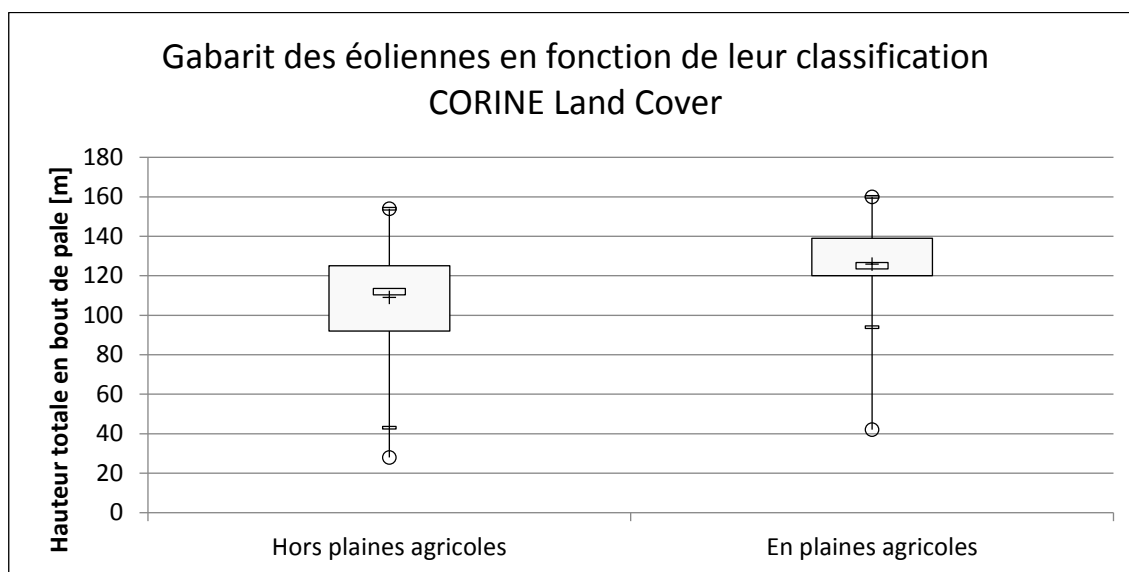


Figure 5 : Hauteur totale des éoliennes en fonction du type d'habitat



Comme nous le verrons dans les paragraphes 1.7 et 1.8, cette situation s'explique par le fait que les éoliennes les plus anciennes – et donc les plus petites – ont été installées dans les territoires offrant le meilleur potentiel éolien, ces territoires se trouvant être, le plus souvent, des forêts, terres boisées et broussailles méditerranéennes. Ce n'est qu'à partir de 2004 que les territoires moins ventés constitués majoritairement de plaines agricoles situées plus loin des ZPS ont pu être investis par les promoteurs disposant de machines de plus grand gabarit. Il convient donc d'être vigilant lorsque l'on compare les impacts de parcs éoliens situés sur des habitats différents puisque le gabarit des machines varie lui-aussi (et réciproquement).

1.5 Comparaison avec d'autres pays

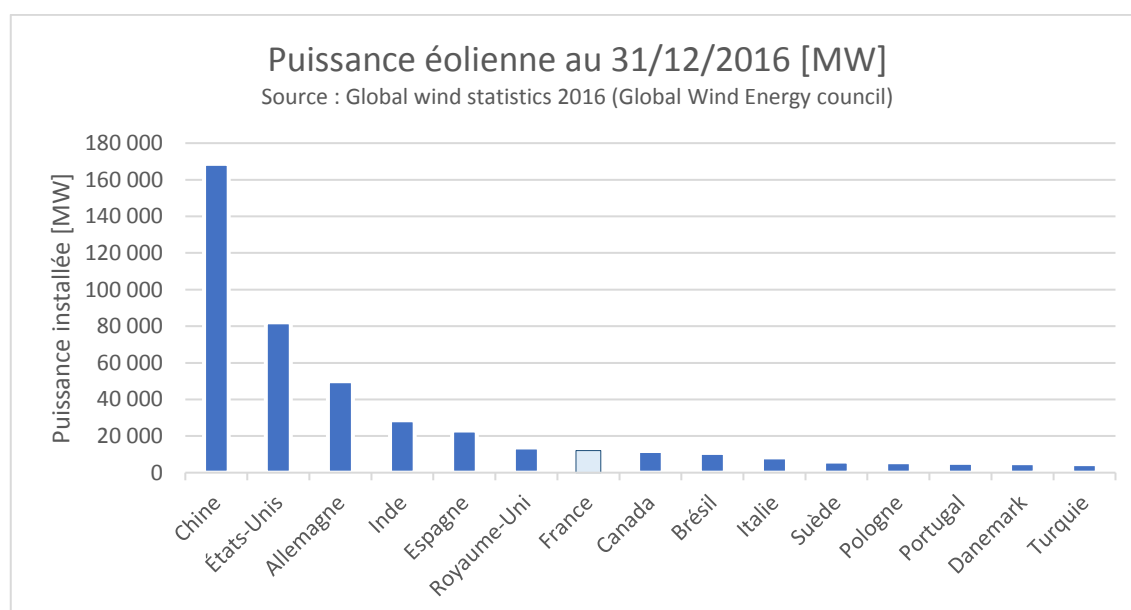
Il n'est pas possible de comparer le nombre d'éoliennes implantées dans les différents pays du monde. En effet, toutes les données existantes comptabilisent non pas le nombre d'éoliennes implantées mais la puissance installée (en MW).

Des pays comme les Etats-Unis, qui ont entrepris le développement de parcs géants dès les années 70, disposent de milliers d'éoliennes de très faible puissance (inférieure à 0,2 MW) – près de 13 000 rien que sur les trois parcs de Tehachapi Pass, San Gorgonio Pass et Altamont Pass – tandis que la France, où le développement de l'éolien n'a réellement débuté qu'au début des années 2000, ne dispose pratiquement que d'éoliennes de plus d'1 MW (la moyenne et la médiane s'établissant toutes deux à 2 MW). Le nombre d'éoliennes nécessaires pour atteindre la même puissance installée est donc, vraisemblablement supérieur aux Etats-Unis qu'en France.

Les données fournies par le Global Wind Energy Council¹² permettent toutefois d'établir les classements suivants :

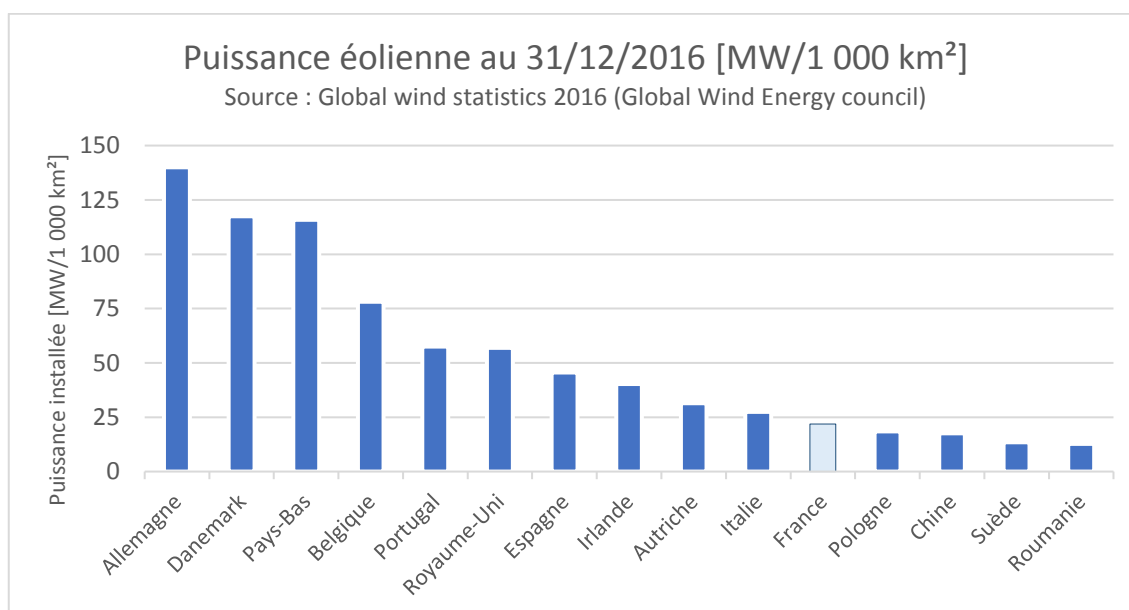
Au 31 décembre 2016, la France se trouve au 7^{ème} rang mondial et au 4^{ème} rang européen en termes de puissance éolienne installée derrière la Chine, les Etats-Unis, l'Allemagne, l'Inde, l'Espagne et le Royaume-Uni (Figure 6). Cette situation s'explique par la disponibilité de la ressource vent (inégaie suivant les pays), par la part de ces territoires libre de contraintes techniques, réglementaires et environnementales et par les choix politiques opérés en matière de stratégie énergétique.

Figure 6 : Puissance éolienne installée dans le monde au 31/12/2016 [MW]



En termes de densité (puissance installée en MW pour 1 000 km²), la France figure à la 11^{ème} position au niveau mondial, derrière l'Allemagne, le Danemark, les Pays-Bas ou la Belgique (Figure 7).

¹² Global wind statistic 2016 (Global Wind Energy Council)

Figure 7 : Densité d'éoliennes installée dans le monde au 31/12/2016 [MW/1 000 km²]

D'après l'EWEA (European Wind Energy Association) aucun parc éolien français ne fait partie des 10 plus grands parcs éoliens d'Europe¹³. Le plus grand ensemble d'éoliennes français – tel que nous l'avons défini plus haut avec ses 56 machines – se rapproche toutefois du parc anglais de Dorenell situé en dixième position (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des 10 plus grands parcs européens

Parc	Pays	Puissance [MW]	Nb d'éoliennes	Date de mise en service
Fantanele and Cogevalac	Romania	600	240	2012
Whitelee	UK	539	215	2012
Viking	UK	371	103	2018 (fully permitted)
Clyde	UK	350	152	2012
Pen y Cymoedd	UK	256	76	2016 (fully permitted)
Alto Minho	Portugal	240	120	2008
Vento Minho	Portugal	240	120	2009
Andau	Austria	237	79	2014 (under construction)
Maranchón	Spain	208	104	2007
Dorenell	UK	177	59	2018 (fully permitted)
Total		3 218	1 268	

Nous l'avons vu précédemment, les grands espaces américains ont permis l'émergence de projets hors normes composés, parfois, de plusieurs milliers d'éoliennes. Ainsi, aucun des vingt plus grands parcs américains n'est constitué de moins de 200¹⁴ éoliennes.

Le parc éolien d'Altamont Pass en Californie, dont il est souvent question dans la littérature, concentre à lui seul 4 930 éoliennes sur une surface de prairie vallonnée de 165 km², c'est-à-dire pratiquement autant d'éoliennes que toute la France sur une surface inférieure à celle de la commune de Millau (12). Le gabarit de ces machines n'a toutefois rien de comparable avec les

¹³ [Ten biggest onshore wind farms in Europe \(juillet 2013\)](#)

¹⁴ [AWEA U.S. Wind Industry Annual Market Report 2012](#)

éoliennes que l'on trouve en France (la plupart sont équipées de tours en treillis haubanés de 24 m de haut et de pales de 9 m de long avec des vitesses de rotation élevées).

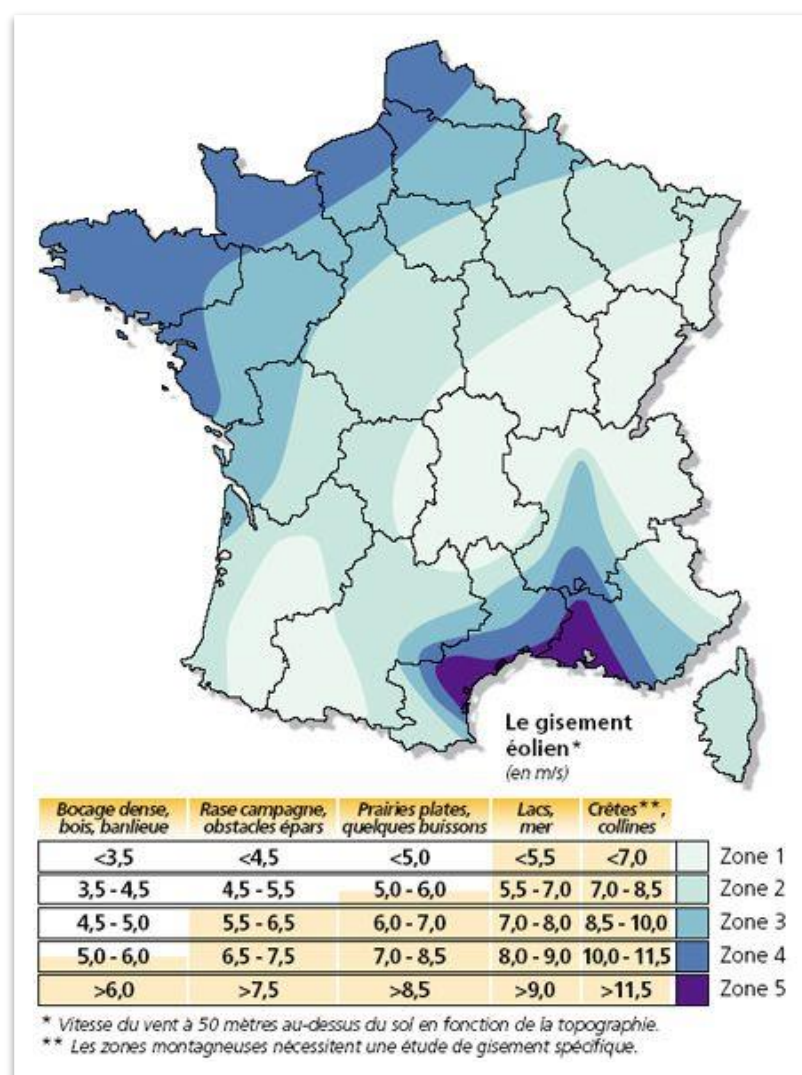
Il convient donc d'être extrêmement prudent lorsque l'on se réfère à des publications étrangères et de vérifier si les conclusions sont transposables, ou non, à un autre contexte.

1.6 Répartition des éoliennes sur le territoire français

Deux facteurs principaux permettent d'expliquer la distribution des éoliennes sur le territoire français :

1. **Le gisement éolien.** Historiquement, c'est ce critère qui a orienté l'émergence des premiers parcs français vers le sud de la France et la vallée du Rhône avant d'atteindre les côtes de la moitié nord ;
2. **Les plaines agricoles.** Ces grands espaces exempts d'habitations ont ensuite été investis dans les régions Champagne-Ardenne, Lorraine, Centre Val-de-Loire puis Bourgogne au fur et à mesure que le gabarit des machines permettait de capter les vents de plus en plus haut.

Figure 8 : Le gisement éolien français [m/s]. Source : Ademe, novembre 2015

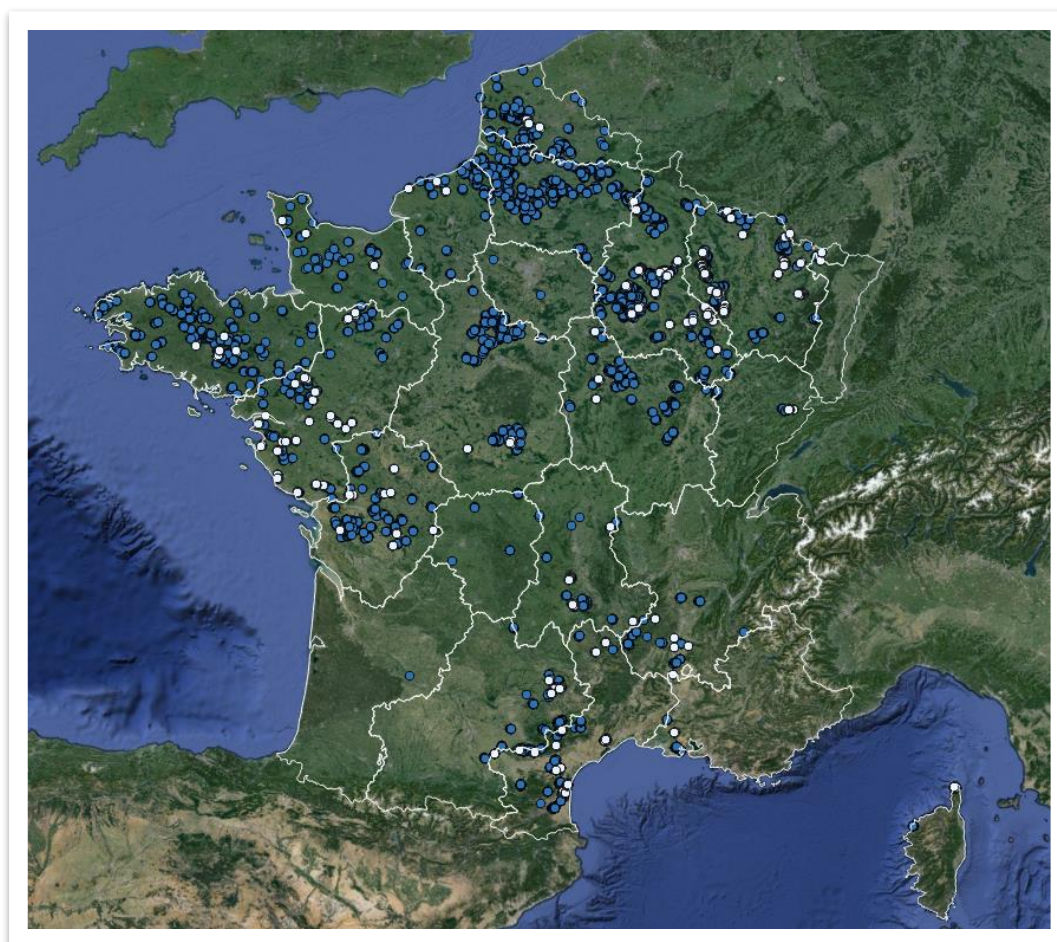


Les grands territoires, peu voire pas investis par les promoteurs éoliens, présentent un faible gisement éolien (Aquitaine, Limousin, Alsace, Franche-Comté) ou des contraintes techniques ou paysagères fortes (Ile-de-France, Alpes, Pyrénées, etc.).

Avec l'augmentation progressive de la taille des éoliennes et la diminution des coûts d'investissement et d'exploitation, les territoires peu venteux devraient s'ouvrir de plus en plus aux porteurs de projets éoliens. Il est ainsi possible d'imaginer dans l'avenir un développement de l'éolien dans ces nouveaux territoires plutôt que dans ceux qui subissent aujourd'hui déjà une forte pression de la part des développeurs.

Sur la carte ci-dessous, les points représentent les parcs éoliens en exploitation ou disposant des autorisations de construire et d'exploiter en avril 2016. Les parcs éoliens sur lesquelles nous disposons de données (suivis d'activité ou de mortalité, découvertes fortuites, etc.) sont représentés en blanc. Les analyses qui suivent portent sur les jeux de données constitués dans le cadre de ces suivis.

Figure 9 : Localisation des parcs éoliens français au 1er avril 2016
(En blanc ceux pour lesquelles nous disposons de données)



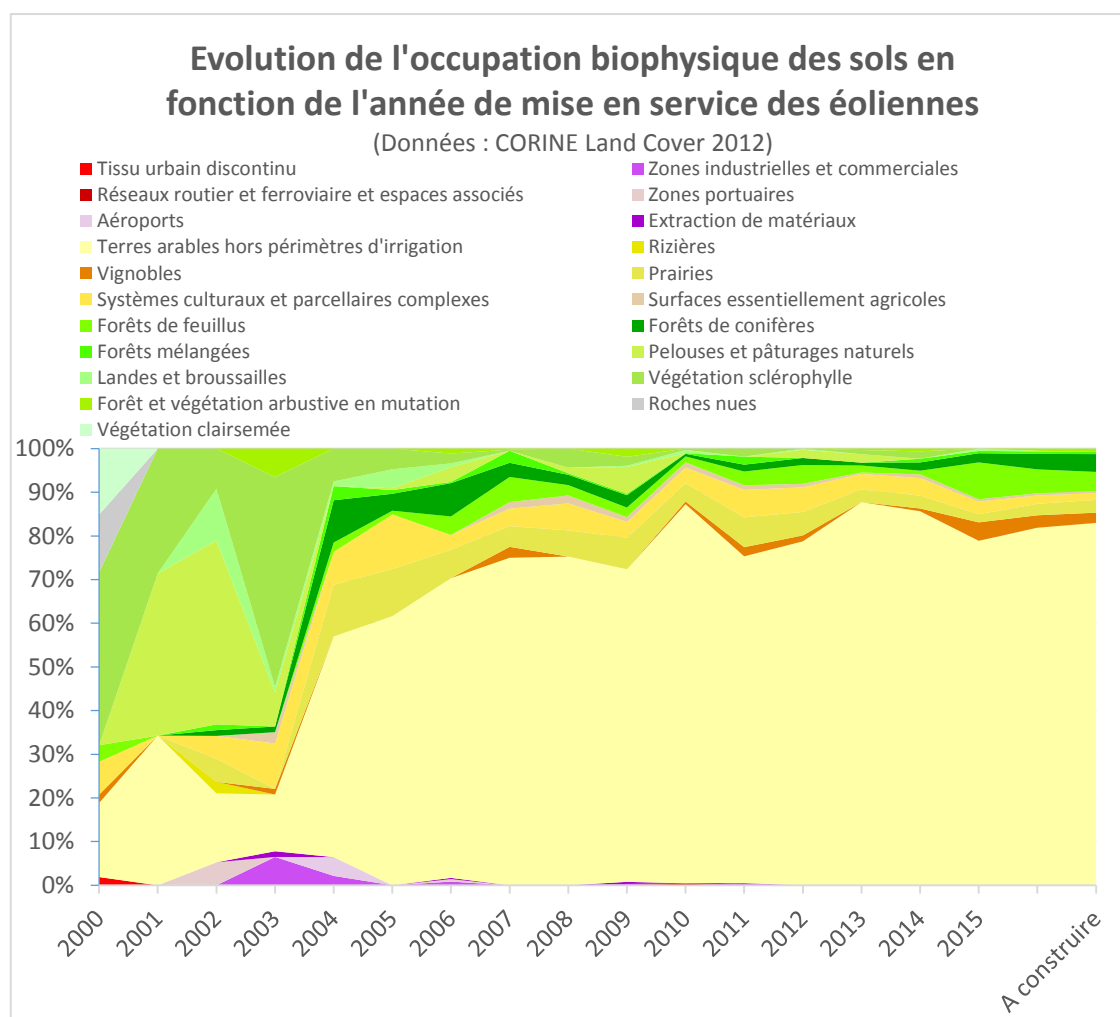
1.7 Habitats concernés

Les premières éoliennes installées en France, jusqu'en 2000, avaient une hauteur totale comprise entre 40 et 80 m en bout de pale. Le critère vent primait donc sur toute autre considération, d'autant que la rentabilité n'était pas assurée par le mécanisme d'obligation d'achat tel qu'il existe aujourd'hui en France. Le cadre réglementaire n'imposait pas des études d'impact aussi exigeantes qu'aujourd'hui. Enfin, le réseau Natura 2000 était peu développé, spécialement les ZPS dont l'essentiel des désignations est intervenu en 2006-2007.

C'est ainsi que les premiers parcs ont été implantés, pour la plupart, dans les espaces naturels exposés au mistral et à la tramontane, puis sur les côtes de la Manche et de la mer du Nord.

Depuis, grâce à l'augmentation du gabarit des machines et aux exigences accrues des services instructeurs (déploiement du réseau Natura 2000, classement ICPE des éoliennes, émergence de la notion de séquence ERC¹⁵, etc.), les parcs mis en service chaque année s'implantent de plus en plus en plaine agricole (et donc hors des territoires forestiers, zones humides, bocage, etc.). Dans les régions à faible potentiel éolien, les projets deviennent aujourd'hui économiquement viables du fait de l'augmentation de la taille des pales qui permet de générer de l'électricité à partir de vitesses de vents plus faibles. Les mâts, de plus en plus hauts, permettent également de capter les vents d'altitude jusque-là inaccessibles.

Figure 10 : Evolution de l'occupation biophysique des sols par les éoliennes



Quelques chiffres pour illustrer :

- Seules 17,0 % des éoliennes mises en service en 2000 avaient été implantées sur des "terres arables hors périmètres d'irrigation" (en plein champ), la majeure partie se retrouvant dans des espaces naturels (prairies, bois, maquis, etc.) ou des cultures complexes (bocages, etc.). Ce pourcentage a eu tendance à augmenter chaque année pour s'établir à 78,9 % pour les éoliennes implantées en 2015 et dépasse 82,9 % pour les projets autorisés mais non encore construits (Figure 10).

¹⁵ [Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels](#), MEDD (2013)

- En valeur cumulée, alors que les éoliennes en exploitation en territoire forestier – au sens Corine Land Cover du terme (forêts, pelouses et pâturages naturels, landes et broussailles, végétation sclérophylle, etc.) – représentaient 60,6 % des éoliennes en 2003, elles ne représentent plus que 12,8 % du total des éoliennes en 2015.

1.8 Eoliennes et ZPS

Deux constats s'imposent lorsque l'on superpose les éoliennes et les périmètres des Zones de Protection Spéciale (ZPS) telles qu'elles existent aujourd'hui : d'une part, la répartition des éoliennes situées en ZPS n'est pas uniforme sur le territoire et, d'autre part, la proximité des ZPS dépend de la date de mise en service.

Ainsi, 15 régions – parmi les 22 que comptait la France métropolitaine avant l'entrée en vigueur du nouveau découpage régional le 1^{er} janvier 2016 – n'accueillent aucune éolienne en ZPS¹⁶. Ces régions regroupent pourtant 71,3 % des éoliennes françaises. Au contraire, 5 régions concentrent 90,5 % des 252 éoliennes situées en ZPS (Tableau 2).

Tableau 2 : Répartition des éoliennes en ZPS suivant les régions de France métropolitaine (données avril 2016)

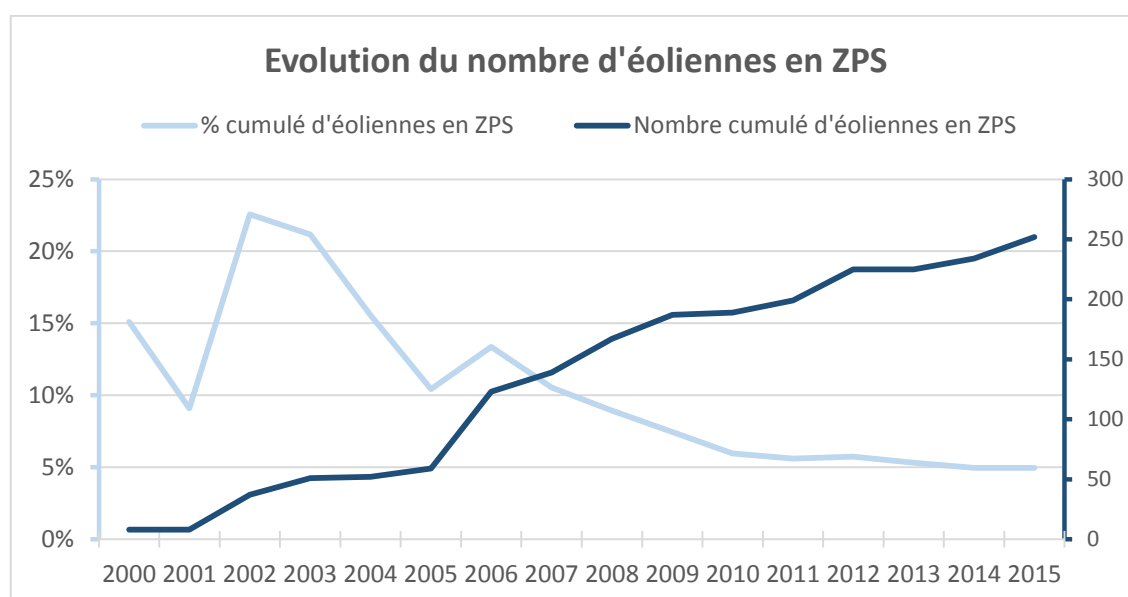
Région	Nb d'éoliennes construites ou autorisées	Nb d'éoliennes en ZPS	% d'éoliennes en ZPS	Puissance installée en ZPS
Champagne-Ardenne	1 149	0	0,0%	0 MW
Picardie	846	0	0,0%	0 MW
Bretagne	546	0	0,0%	0 MW
Lorraine	485	0	0,0%	0 MW
Nord-Pas-de-Calais	365	0	0,0%	0 MW
Poitou-Charentes	313	0	0,0%	0 MW
Midi-Pyrénées	213	0	0,0%	0 MW
Basse-Normandie	146	0	0,0%	0 MW
Rhône-Alpes	110	0	0,0%	0 MW
Corse	30	0	0,0%	0 MW
Franche-Comté	26	0	0,0%	0 MW
Ile-de-France	13	0	0,0%	0 MW
Alsace	12	0	0,0%	0 MW
Aquitaine	1	0	0,0%	0 MW
Haute-Normandie	148	1	0,7%	1 MW
Limousin	26	6	23,1%	9 MW
Auvergne	139	17	12,2%	26 MW
Provence-Alpes-Côte d'Azur	41	26	63,4%	26 MW
Languedoc-Roussillon	447	38	8,5%	57 MW
Pays-de-la-Loire	384	41	10,7%	60 MW
Bourgogne	332	50	15,1%	101 MW
Centre-Val de Loire	401	73	18,2%	150 MW
Total	6 173	252	4,1%	435 MW

¹⁶ Si on intègre la Haute-Normandie où une seule éolienne se trouve en bordure intérieure d'une ZPS.

D'autre part, plus les éoliennes ont été mises en service récemment, moins elles sont implantées en ZPS ; et les éoliennes sont implantées, en moyenne, de plus en plus loin des ZPS.

- Le pourcentage d'éoliennes mises en services en ZPS¹⁷ chaque année a été divisé par trois entre 2000 et 2015 pour passer de 15,1 % à 4,75 % (Figure 11).
- En valeur cumulée, la part des éoliennes en ZPS a tendance à décroître chaque année depuis 2002 pour atteindre 4,95 % en 2015, bien que leur nombre total continue de progresser régulièrement (Figure 11).

Figure 11 : Evolution du nombre d'éoliennes en ZPS



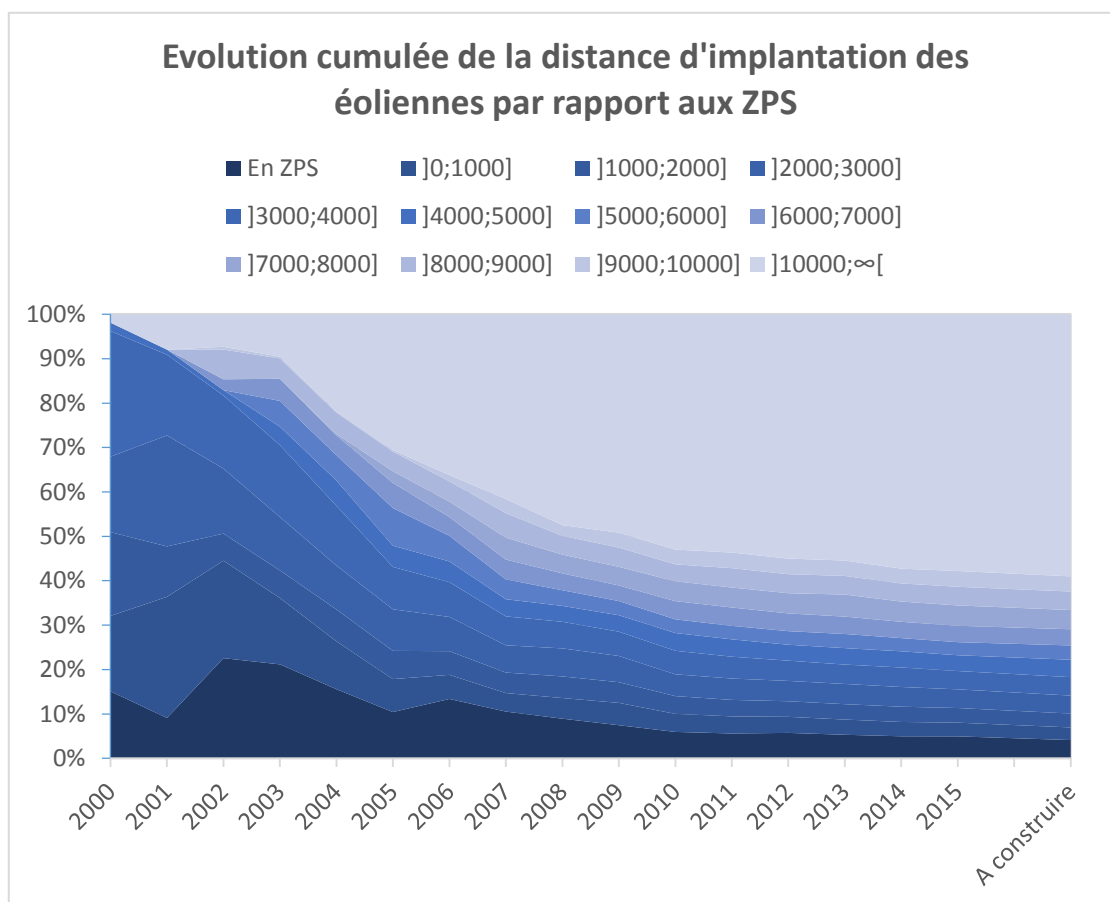
- 98,1 % des éoliennes qui ont été mises en service en 2000 se trouvent à moins de 10 km d'une ZPS, contre 42,2 % en 2015 (Figure 12).
- La distance moyenne d'implantation par rapport aux ZPS, telles qu'elles existent aujourd'hui, n'a cessé d'augmenter pour passer de 2,3 km en 2000 à 16,7 km en 2015.
- Parmi les 252 éoliennes situées en ZPS (4,9 % de l'ensemble des éoliennes) 56 % ont obtenu leurs autorisations de construire et d'exploiter avant la désignation de ces territoires en ZPS¹⁸.
- Parmi les 392 ZPS françaises, seules 14 (3,57 %) accueillent des éoliennes. Parmi ces 14, seules 6 avaient été désignées en ZPS¹⁸ avant l'implantation des premières machines.

Cela ne veut pas dire que les développeurs ne cherchent pas à s'établir dans les territoires à forts enjeux biodiversité mais, plus vraisemblablement, que l'administration accorde ces autorisations avec parcimonie, prenant de mieux en mieux en compte les enjeux liés à l'avifaune. Néanmoins, si la proportion d'éoliennes implantées chaque année en ZPS ou en dehors de plaines agricoles a tendance à diminuer, le nombre d'éoliennes en exploitation dans ces sites ne cesse d'augmenter mécaniquement par effet de cumul.

¹⁷ Beaucoup de ces ZPS n'existaient pas encore au moment de l'implantation des éoliennes.

¹⁸ Ces territoires étaient toutefois identifiés comme ZICO (Zone importante pour la conservation des oiseaux).

Figure 12 : Evolution cumulée de la distance d'implantation des éoliennes par rapport aux ZPS



2 Les suivis réalisés

2.1 Réglementation applicable aux suivis

L'exploitant d'un parc éolien doit s'assurer que la construction et l'exploitation de son parc ne dégradent pas l'état de conservation des espèces.

Ces impacts sont analysés dans l'étude d'impact réalisée préalablement à l'implantation du parc éolien puis font l'objet d'un suivi environnemental.

Ce suivi est prévu dans des termes identiques par l'article 12 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011¹⁹ et par le point 3.7 de l'annexe I de l'arrêté du 26 août 2011²⁰ :

« Au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs.

Lorsqu'un protocole de suivi environnemental est reconnu par le ministre chargé des installations classées, le suivi mis en place par l'exploitant est conforme à ce protocole.

Ce suivi est tenu à disposition de l'inspection des installations classées. »

Ce suivi doit également être conforme à la réglementation de l'étude d'impact. Ainsi, l'article R122-14 du code de l'environnement prévoit que « - La décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution du projet mentionne :

1° Les mesures à la charge du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage, destinées à éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités et, lorsque cela est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits ;

2° Les modalités du suivi des effets du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;

3° Les modalités du suivi de la réalisation des mesures prévues au 1° ainsi que du suivi de leurs effets sur l'environnement, qui font l'objet d'un ou plusieurs bilans réalisés selon un calendrier que l'autorité compétente pour autoriser ou approuver détermine. Ce ou ces bilans sont transmis pour information par l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution à l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement. »

Le ministre en charge des installations classées a reconnu, le 23 novembre 2015, un protocole de suivi environnemental applicable aux éoliennes terrestres soumises à autorisation et à déclaration au titre de la législation relative aux ICPE. Celui-ci n'est toutefois applicable qu'aux parcs mis en service après cette date.

¹⁹ [Article 12 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011](#) relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

²⁰ [Arrêté du 26 août 2011](#) relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à déclaration au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Tous les rapports de suivis dont nous disposons et qui sont ici analysés concernent des parcs mis en service avant novembre 2015. Aucun protocole national n'était alors imposé aux exploitants de parcs éoliens. Ceci explique, en partie, l'extrême hétérogénéité des suivis qui ont été réalisés, tant en terme de pression d'observation que de rendu.

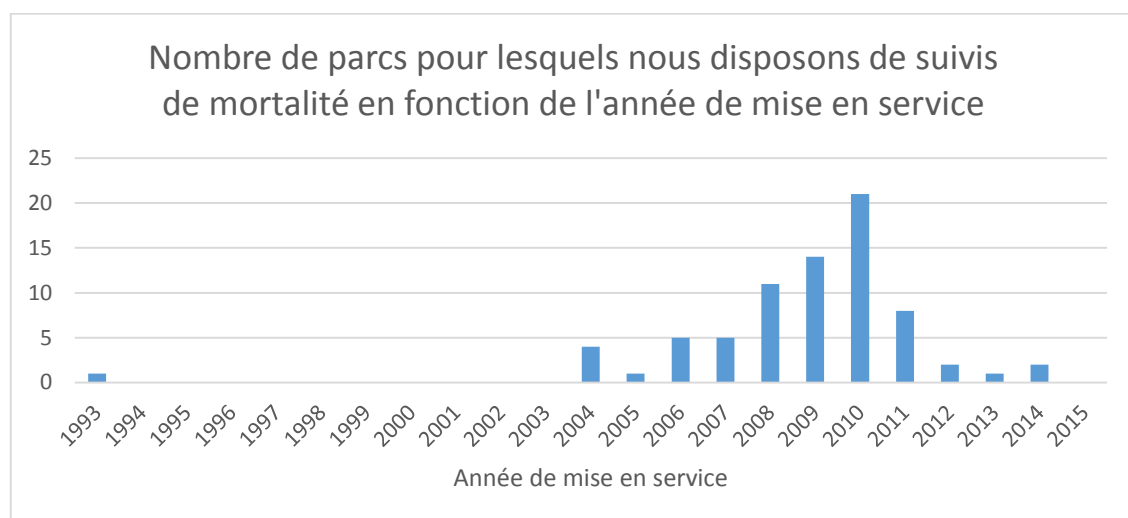
Parmi les parcs mis en services avant août 2011, seuls ceux dont l'étude d'impact ou l'autorisation d'exploiter prescrivait un suivi de mortalité y étaient expressément soumis. Les autres bénéficient d'un délai de 10 ans à compter de la mise en service pour réaliser un suivi environnemental conforme au protocole validé par le ministère.

Pour de très nombreux parcs mis en services après août 2011, les exploitants bénéficient d'un délai de 3 ans pour réaliser leur suivi de mortalité. Cela explique sans doute en partie le faible nombre de rapports de suivi que nous avons pu réunir concernant ces parcs.

En outre, depuis août 2011 la loi précise que les suivis réalisés par les exploitants de parcs sont simplement « tenus à la disposition » de l'Inspection des installations classés dans le cadre des contrôles. Si certaines DREAL ont mis un point d'honneur à réclamer systématiquement les rapports de suivi, d'autres ne disposent tout simplement pas de ces documents.

De fait, très peu de rapports traitant de parcs mis en service après 2011 ont pu être obtenus (Figure 13).

Figure 13 : Nombre de parcs dont le suivi de mortalité est disponible



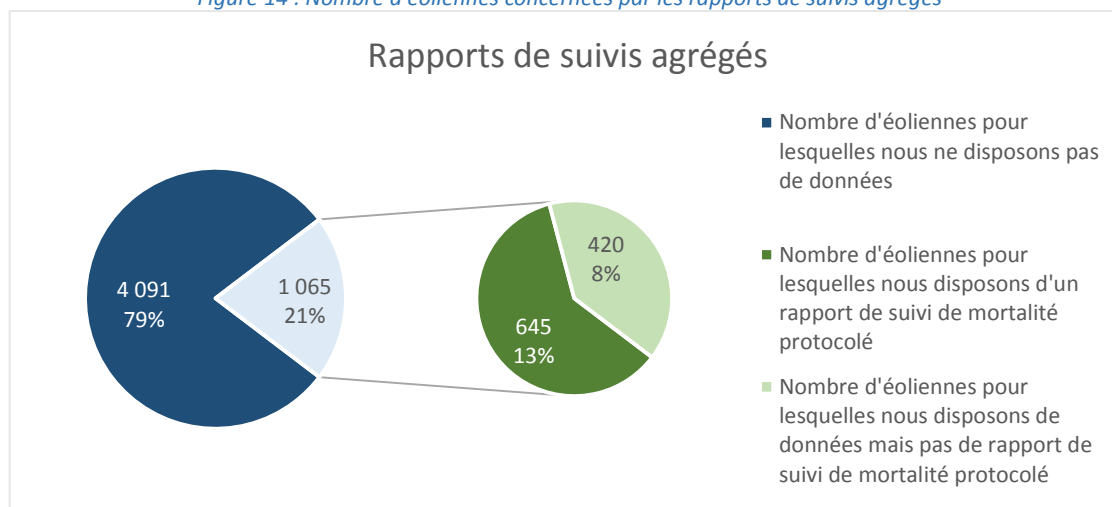
2.2 Données agrégées

Nous avons réuni à ce jour 197 rapports pour un total de 8 696 pages. Tous ne contiennent pas de suivi de mortalité : certains se contentent de suivis des habitats ou de suivis d'activité – des migrateurs, des nicheurs, des chiroptères – suivis qui n'excluent pas nécessairement des prospections rapides ou des découvertes fortuites.

Les données ainsi recueillies (découvertes fortuites, suivis de mortalité ou autres suivis) concernent 142 parcs (1 065 éoliennes), soit 20,6 % du parc éolien français en exploitation en avril 2016. Il s'agit en grande majorité de rapports de suivis environnementaux transmis par les DREAL ou des associations de protection de la nature (APN). Parmi ces rapports, les rapports de suivi de mortalité concernent 645 éoliennes appartenant à 91 parcs et représentant 12,5 % du parc éolien français en exploitation en avril 2016 (Figure 14).

Nous verrons par la suite que les parcs situés en zone d'incidence Natura 2000 sont surreprésentés dans cet échantillon. A contrario, ceux situés en plaine agricole sont sous-représentés.

Figure 14 : Nombre d'éoliennes concernées par les rapports de suivis agrégés



Suite à nos sollicitations, certains bureaux d'étude ou associations ont parfois accepté d'apporter des compléments d'informations non spécifiés dans ces rapports (rapports intermédiaires, dates de découverte des cadavres, largeurs de transects, distance par rapport au mât, etc.).

Certains cas de mortalité sont également issus de compilations réalisées par le CPIE Pays de Soulaisne en Champagne-Ardenne et Tobias Dürr (Agence de l'environnement du Land de Brandebourg) qui tient à jour un décompte des cas de mortalité constatés en Europe²¹. Pour ces dernières sources, il n'a pas été systématiquement possible de relier chaque cas de mortalité à un parc particulier ou à des modalités de suivis ; toutefois, il a été possible de s'assurer de l'absence de doublons.

Lorsque les informations étaient disponibles, chaque suivi annuel a été décrit aussi précisément que possible dans une base de données : parc concerné, nature du suivi, date de début et de fin, nombre d'éoliennes suivies, nombre de prospections par éolienne, surface théorique prospectée, surface réellement prospectée, largeur des transects.

37 839 prospections réalisées entre 1997 et 2015 ont ainsi pu être répertoriées dont 35 903 issues de suivis de mortalité protocolés (94,88 %).

2.3 Robustesse des suivis de mortalité

91 parcs, composés de 645 éoliennes, ont fait l'objet d'un suivi destiné à évaluer leur mortalité et précisant, au minimum :

- le nombre d'éoliennes suivies ;
- la surface théoriquement prospectée sous chaque éolienne (mais pas nécessairement la surface éventuellement non prospectable à certaines périodes de l'année sous certaines éoliennes en raison, par exemple, de la couverture végétale) ;
- la période de l'année sur laquelle se déroule le suivi ;

²¹ [Bird fatalities at windturbines in Europe](#) (Dürr, 2017)

- le nombre de prospections sous chaque éolienne (mais pas nécessairement la date exacte de chacune des visites).

Ces 645 éoliennes représentent 12,5 % des éoliennes en exploitation en France.

2.3.1 Nombre d'éoliennes suivies

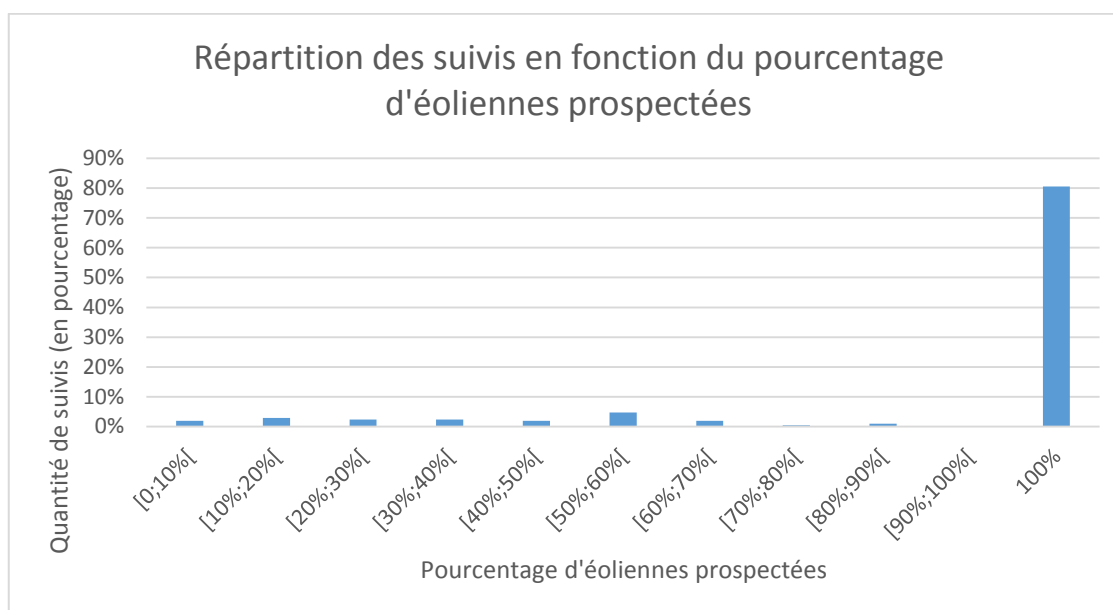
Pour la grande majorité des parcs (81 %) l'ensemble des éoliennes a été prospectée (Figure 15).

Le choix de ne prospecter que certaines des éoliennes d'un parc peut résulter soit de contraintes techniques (éoliennes en forêt ou dans un site difficilement accessible) soit d'arbitrages financiers.

La plupart des suivis montrent une répartition hétérogène des cadavres sous les différentes éoliennes d'un même parc. Les éoliennes étant espacées de plusieurs centaines de mètres les unes des autres, les enjeux avifaunes et chiroptères peuvent fortement varier d'une éolienne à l'autre, y compris lorsque le parc est intégralement situé dans un habitat en apparence homogène comme une plaine agricole. De même, les suivis réalisés plusieurs années de suite montrent parfois une évolution de la répartition de la mortalité entre les éoliennes d'un même parc.

C'est pourquoi il est conseillé de prospecter sous l'ensemble des éoliennes, y compris dans les parcs importants.

Figure 15 : Répartition des suivis en fonction du pourcentage d'éoliennes prospectées

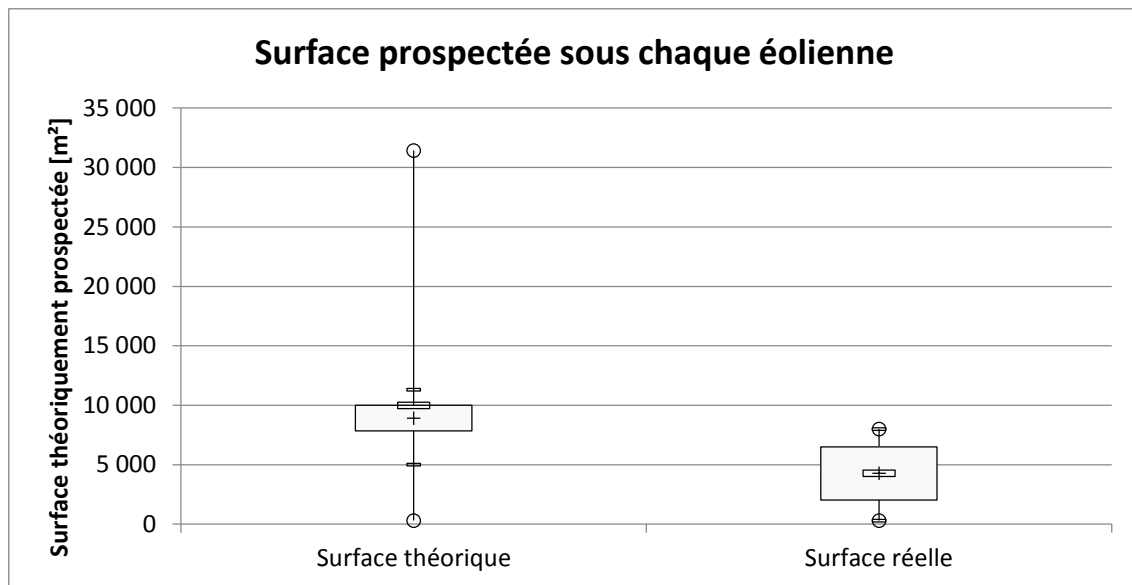


2.3.2 Surface prospectée

La surface théoriquement prospectée sous chaque éolienne varie de 314 m² (pour un parc) à 31 416 m² (pour un parc également), c'est-à-dire que le rayon de recherche varie de 10 à 100 m autour de chaque éolienne.

La majeure partie des suivis (80 %) respecte toutefois des préconisations de la LPO (André, 2009), la zone à prospecter étant caractérisée par un cercle d'au moins 100 m de diamètre (7 854 m²) ou un carré d'au moins 100 m de côté (10 000 m²) (Figure 16).

Figure 16 : Surface théoriquement et réellement prospectée sous chaque éolienne



Note : se référer à l'Annexe III page 91 pour la lecture des diagrammes en boîte.

Précisons qu'il s'agit bien là de la surface théoriquement prospectée, c'est-à-dire la surface sur laquelle l'organisme en charge du suivi s'est engagé à rechercher des cadavres lorsque cela est possible. La surface réellement prospectée est quant à elle souvent inférieure en raison de la couverture végétale qui varie au cours de l'année ou de contraintes d'accès à certaines parcelles.

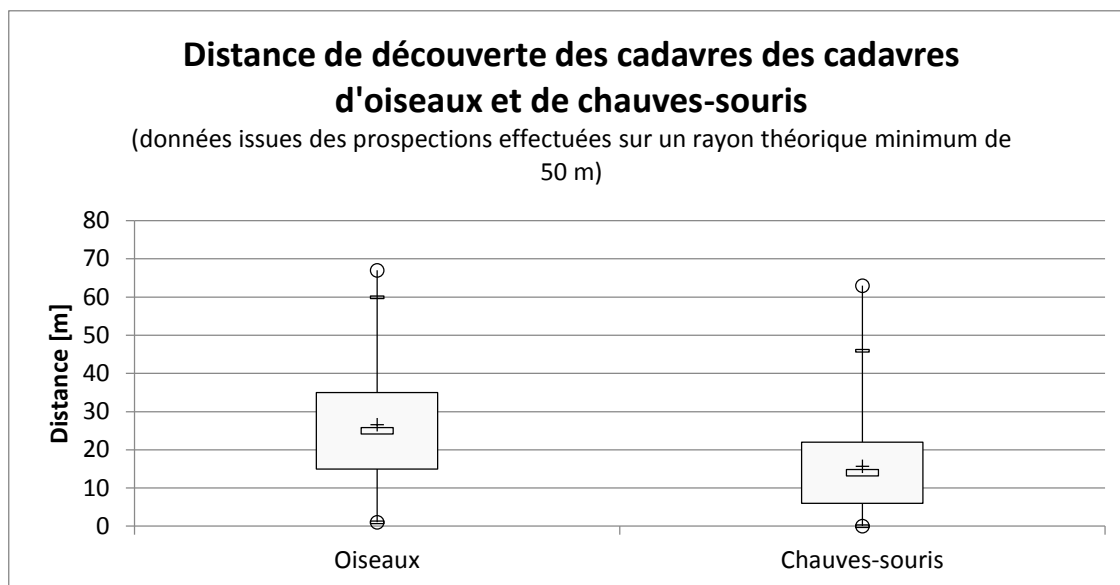
La surface réellement prospectée n'est précisée que dans 25 % des rapports. Sa prise en compte dans cette étude est souvent complexe puisque celle-ci varie potentiellement à chaque visite en fonction de l'évolution du couvert végétal.

Globalement, pour les parcs pour lesquels cette donnée est disponible, la surface réellement prospectée est, en moyenne, deux fois moins importante que la surface théorique (Figure 16).

Pour les parcs ayant fait l'objet d'une prospection sur un rayon théorique d'au moins 50 m, la moitié des cadavres d'oiseaux est retrouvée à une distance comprise entre 15 et 35 m par rapport au mât de l'éolienne la plus proche tandis que la moitié des chauves-souris est retrouvée entre 6 et 22 m (Figure 17). Le fait que les oiseaux subissent des collisions et les chauves-souris des barotraumatismes intervient vraisemblablement dans ce mécanisme. Une étude s'appuyant sur un modèle balistique montre également que la distance potentielle de projection est corrélée avec le poids des cadavres (Hull & Muir, 2010) ; plus les individus sont grands et lourds plus ils peuvent être projetés loin des éoliennes.

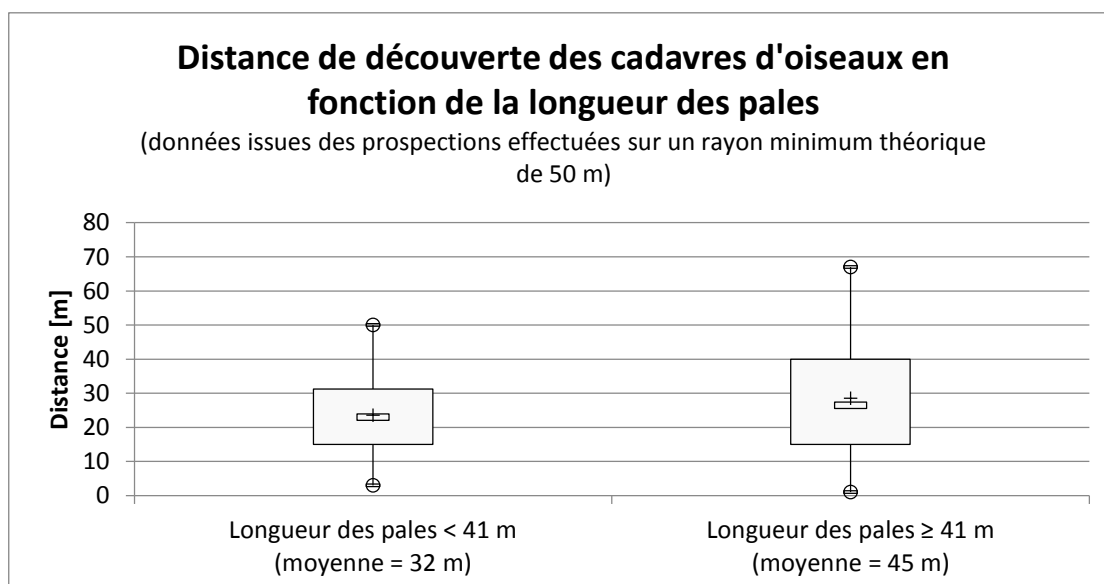
Si le rayon de prospection, fixé à 50 m, semble adapté pour les chauves-souris, il est possible qu'il soit insuffisant pour découvrir l'ensemble des cadavres d'oiseaux que l'on retrouve globalement plus loin du mât de l'éolienne.

Figure 17 : Distance de découverte des cadavres par rapport à l'éolienne la plus proche



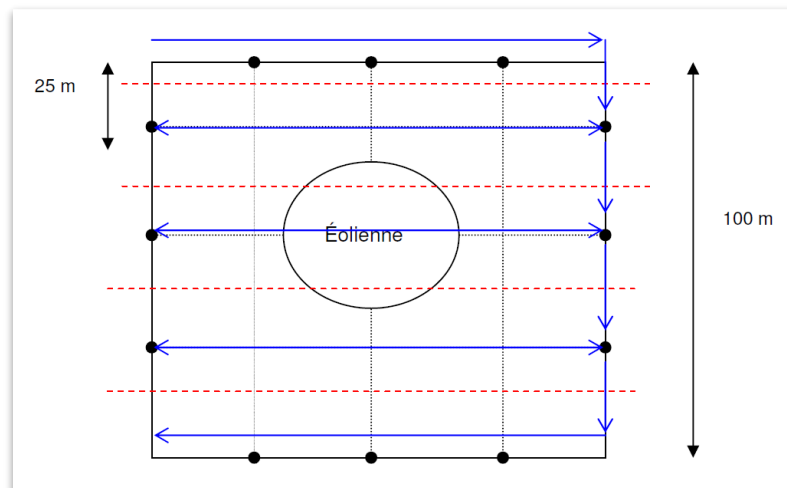
Il est probable que la taille des pales influence également la dispersion des cadavres d'oiseaux mais ce phénomène est difficile à mettre en évidence du fait de la quasi absence de prospection au-delà de 50 m. Le sous-groupe constitué par les éoliennes équipées de pales de plus de 41 m montre, en effet, une dispersion légèrement plus importante des cadavres (Figure 18). Une prospection généralisée au-delà de 50 m pourrait permettre, dans l'avenir, de mieux rendre compte de ce phénomène.

Figure 18 : distance de découverte des cadavres d'oiseaux en fonction de la longueur des pales



Notons que cette surface prospectée sous les éoliennes est parcourue suivant des transects linéaires ou circulaires dont la largeur varie de 3 à 25 m. Nous avons toutefois relevé plusieurs erreurs dans les largeurs de transects affichées dans les rapports – en particulier celles fixées à 25 m – qui nous amènent à douter de la fiabilité de cette variable. En effet, de nombreux rapports ont reproduit le graphique ci-dessous (Figure 19), issu d'un document de la LPO (André, 2009), sans le modifier et sans préciser que la prospection avait été réalisée suivant des transects de largeur inférieure à 25 m.

Figure 19 : Représentation graphique de la prospection (André, 2009)



En outre, il peut exister un décalage entre la largeur de transect théorique affichée dans le rapport et la largeur effective sur le terrain. Cette dernière est en effet parfois adaptée en fonction des contraintes (tous les terrains ne peuvent pas être parcourus en lignes droites) ou des conditions de visibilité. La détectabilité des cadavres étant bien meilleure sur les plateformes de montage et les chemins d'accès il arrive que les transects soient élargis sur ces surfaces. Au contraire, certains observateurs peuvent resserrer les transects sur des terrains offrant peu de visibilité.

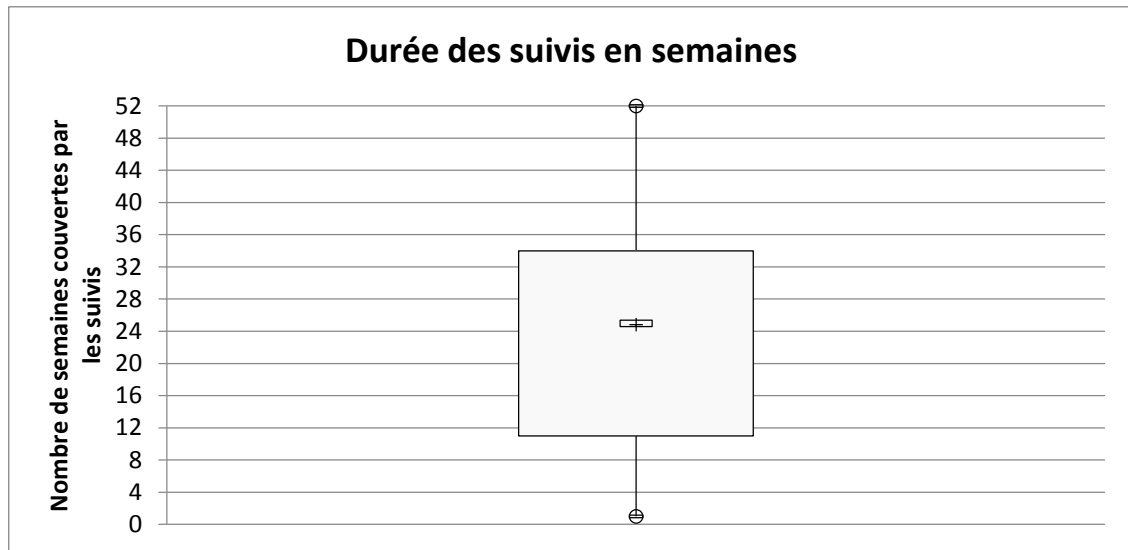
Notons enfin, que le manque de précision dans le rapportage des largeurs de transects n'a finalement que peu d'importance à partir du moment où les tests d'efficacité de recherche sont effectués pour estimer la mortalité réelle (cf. p 56). Malheureusement, comme nous le verrons plus loin, ces tests ne sont réalisés que sur trop peu de parcs.

2.3.3 Durée des suivis

Les périodes de suivi sont extrêmement variables d'un parc à l'autre. Certains prétendent évaluer la mortalité d'un parc en ne couvrant qu'un mois voire une seule semaine, tandis que d'autres vont prospecter systématiquement chaque semaine de l'année. Entre les deux, il existe tout un éventail de suivis se concentrant, en général, sur la période de migration automnale et s'étendant, parfois, aux autres périodes de l'année suivant les enjeux pressentis : migration printanière, période de reproduction et, plus rarement, période d'hivernage.

Les durées médianes et moyennes s'établissent à 25 semaines de suivi par an soit près de 6 mois (Figure 20).

Figure 20 : Durée des suivis de mortalité en semaines



Pour les parcs qui ont été suivis plusieurs années consécutives, il arrive que la période de prospection varie d'une année sur l'autre, ce qui peut rendre les comparaisons interannuelles compliquées.

Le fait de pouvoir choisir la période de prospection peut permettre de concentrer l'effort de recherche sur la ou les phases du cycle biologique présentant les plus forts enjeux préalablement identifiés. Toutefois, cela rend les comparaisons entre parcs hasardeuses et, surtout, cela ne permet pas de conclure à l'absence d'impact sur les périodes non prospectées.

En effet, il est important de souligner que les formules destinées à évaluer la mortalité réelle à partir du nombre de cadavres trouvés (voir p 56) ne permettent pas d'obtenir des extrapolations sur les périodes qui n'ont pas été prospectées. Concrètement, si un parc est prospecté uniquement pendant la période de reproduction, il est impossible d'en déduire le nombre d'oiseaux qui seraient impactés en période de migration ou d'hivernage.

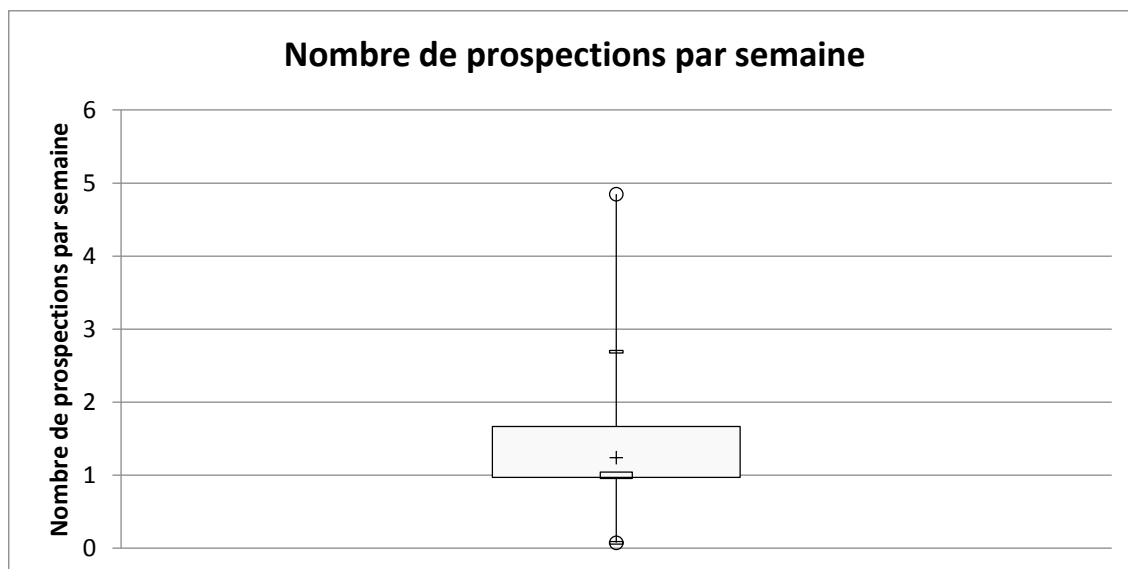
2.3.4 Fréquence de prospection

La majeure partie des suivis de mortalité a été effectuée à raison d'un passage par semaine (Figure 21). Lorsque la prédation n'est pas importante, cette fréquence de passage peut suffire à estimer la mortalité aviaire d'un parc. Il convient toutefois de s'assurer de la durée de persistance des cadavres en réalisant un test de prédation au moins une fois au début de chaque saison et d'adapter la fréquence de prospection en fonction du résultat.

Dans les rapports étudiés, la fréquence de passage semble avoir été systématiquement fixée en amont, les tests de prédation ne servant qu'à fournir des variables pour le calcul de la mortalité réelle estimée (voir p 56).

Dans de rares cas la fréquence de prospection a été augmentée, soit en cours de suivi soit à l'occasion d'une deuxième année de suivi. Cette intensification résultait toutefois plus du constat d'un très faible nombre de cadavres retrouvés que du résultat d'un test de prédation ayant démontré la disparition rapide des cadavres. Dans ces cas particuliers, cette réduction du temps entre deux prospections n'avait pas permis de trouver plus de cadavres.

Figure 21 : Nombre de prospections par semaines



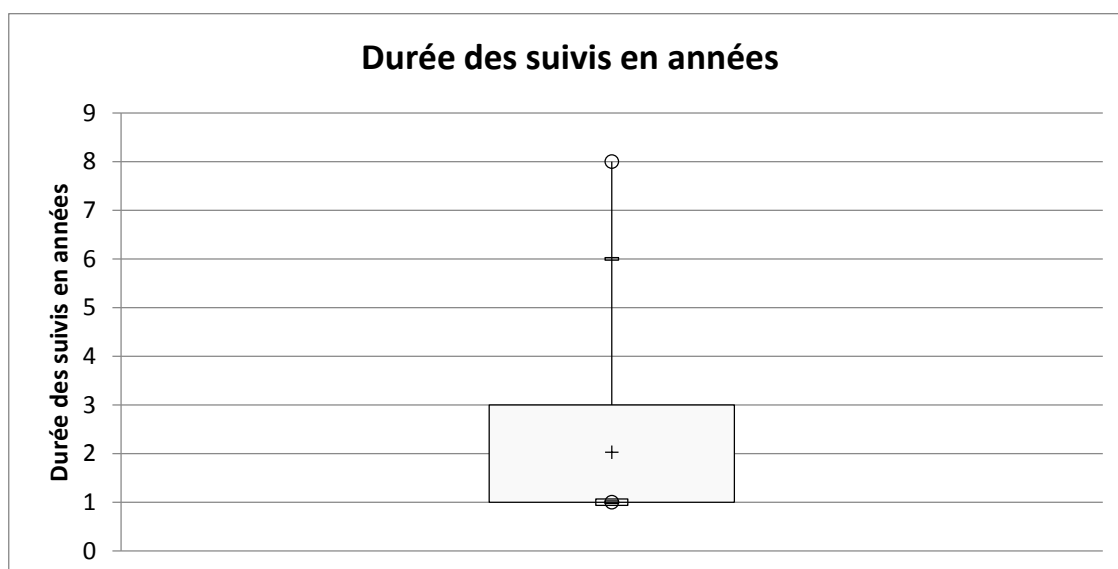
2.3.5 [Reconduction des suivis](#)

Un peu plus de la moitié des suivis de mortalité (54 %) ont été réalisés une seule année sans être reconduits l'année suivante, et seulement un cinquième des suivis (20 %) ont duré plus de trois ans (Figure 22).

Deux parcs sont suivis depuis maintenant plus de 6 ans : Bouin (85) et Aumelas (34).

Les suivis qui ont été reconduits plusieurs années mettent en évidence des variations interannuelles parfois importantes, autant dans la quantité de cadavres récoltés que dans la diversité des espèces impactées. Cela doit nous amener à considérer avec prudence les suivis de mortalité réalisés sur une seule année.

Figure 22 : Durée des suivis en années



2.3.6 Robustesse des suivis en fonction de la localisation des parcs

Les parcs localisés à moins de 500 m des ZPS sont surreprésentés dans notre jeu de données, vraisemblablement parce qu'ils font plus systématiquement que les autres l'objet d'une obligation de suivi environnemental destiné à évaluer la mortalité des oiseaux et des chiroptères. Ainsi, nous disposons de suivis de mortalité pour 30,4 % des éoliennes situées à moins de 500 m d'une ZPS mais pour seulement 10,2 % des autres éoliennes (Tableau 3).

Les suivis réalisés sur les parcs situés à proximité de ZPS sont également plus robustes (surface prospectée et nombre de prospections plus importants, suivis plus souvent reconduits).

Parmi les parcs situés à plus de 500 m des ZPS, on observe également que ceux situés en plein champs bénéficient d'un suivi moins poussé que les autres. En particulier, ceux-ci font l'objet, en moyenne, de deux fois moins de prospections par année de suivi (Tableau 3).

Tableau 3 : Niveau de prospection en fonction de la localisation des parcs

	Nombre d'éoliennes suivies	Nombre moyen de prospections par éolienne et par an	Durée moyenne du suivi (en années)	Surface théorique moyenne prospectée
En plein champs, à plus de 500 m d'une ZPS	299	18,34	1,90	7 771 m ²
Autre habitat, à plus de 500 m d'une ZPS	191	38,32	2,03	9 253 m ²
A moins de 500 m d'une ZPS	101	44,12	2,53	10 793 m ²

On peut y voir une exigence de l'autorité administrative qui peut prescrire un certain nombre de mesures dans les arrêtés de permis de construire ou d'autorisation d'exploiter au titre des ICPE pour les projets les plus sensibles. On peut également interpréter ces différences de traitement comme une volonté des bureaux d'étude et des associations de protection de la nature, qui réalisent les suivis de mortalité, de proportionner l'effort d'investigation aux enjeux présumés des sites.

2.4 Lacunes et limites

2.4.1 Distribution géographique des données

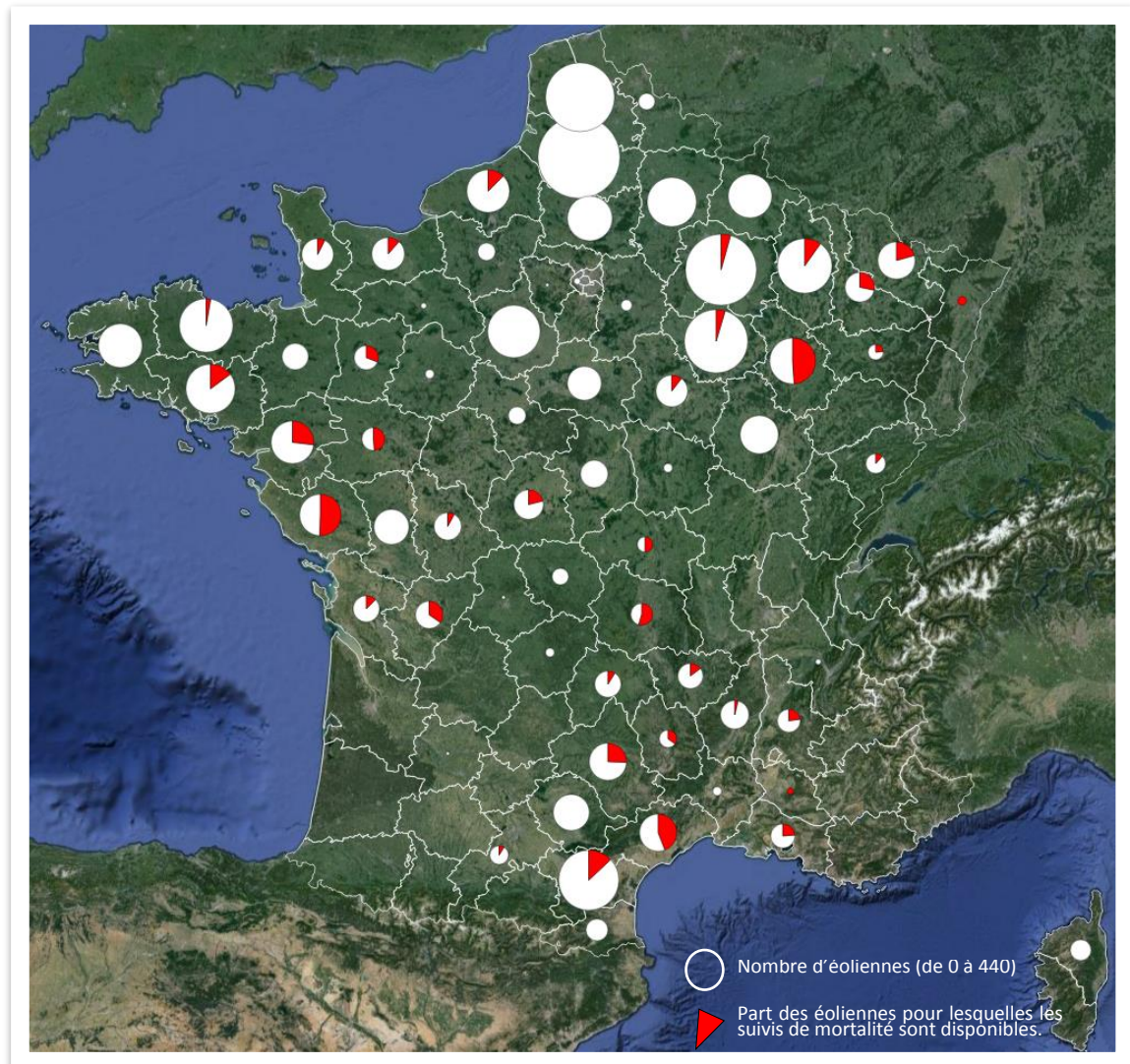
Les parcs pour lesquels nous disposons de suivis de mortalité sont largement répartis sur le territoire, mais recourent de manière inégale le parc éolien français (Figure 23).

Avec 1 066 éoliennes en exploitation, la région des Hauts-de-France fait partie des territoires accueillant le plus d'éoliennes. C'est également la région pour laquelle nous disposons du moins de données puisque nous ne disposons d'aucun suivi de mortalité pour les départements de l'Aisne (02), de l'Oise (60), du Nord (59), du Pas-de-Calais (62) et de la Somme (80).

Parmi les départements accueillant un nombre important d'éoliennes, les Côtes-d'Armor (22), l'Eure-et-Loir (28), les Ardennes (08), le Finistère (29) et la Côte-d'Or (21) sont également peu voire pas représentés dans nos jeux de données.

A contrario, nous avons pu collecter des données relativement nombreuses dans un certain nombre de départements parmi lesquels : la Haute-Marne (52), la Vendée (85), l'Aveyron (12), le Maine-et-Loire (49), la Loire-Atlantique (44), la Meurthe-et-Moselle (54) et l'Hérault (34).

Figure 23 : Carte des suivis disponibles par département



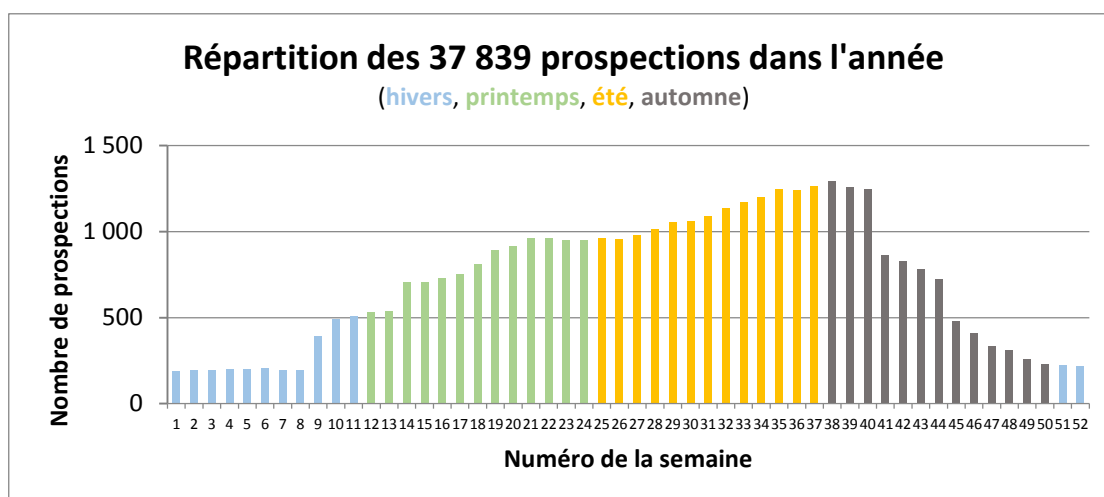
2.4.2 Distribution temporelle des suivis dans l'année

Très peu de parcs éoliens ont fait l'objet de suivis couvrant l'intégralité du cycle biologique annuel (52 semaines). La période de migration postnuptiale, s'étalant de fin-juillet à début octobre, concentre le plus de prospections (Figure 24).

La période hivernale (de fin novembre à fin février) ne fait, quant à elle, l'objet que de très peu d'études.

Seuls 12 parcs (65 éoliennes) ont fait l'objet d'un suivi de mortalité couvrant au moins 48 semaines dans l'année.

Figure 24 : Répartition des 37 839 prospections dans l'année



2.4.3 Exploitabilité des rapports

Au-delà de leur hétérogénéité méthodologique, une des principales lacunes de ces suivis tient au fait que les données brutes ne sont pas toujours reproduites dans les rapports de suivis.

Le parc n'est pas systématiquement décrit (nombre, position, gabarit des éoliennes, puissance et date de mise en service). Ce problème peut assez facilement être surmonté moyennant une recherche de ces données dans d'autres bases documentaires publiques (DREAL) ou privées (The Wind Power²²).

Les enjeux environnementaux mis en évidence par l'étude d'impact ne sont pas toujours rappelés, pas plus que les mesures destinées à éviter, réduire ou compenser d'éventuels impacts. Très peu de suivis s'assurent de la mise en œuvre de ces mesures (plantation de haies, jachères, création de zone humide, etc.).

Le suivi n'est pas systématiquement retranscrit dans le détail (dates précises des visites, surfaces théoriquement et réellement prospectées à chaque visite, largeur des transects, etc.). Les bureaux d'étude ou associations naturalistes en charge de ces suivis ont parfois accepté d'apporter des compléments d'informations suite à nos sollicitations mais de très nombreuses lacunes persistent, en particulier en ce qui concerne la surface réellement prospectée et les largeurs de transects.

Les cas de mortalité constatés ne sont pas systématiquement décrits dans le détail. Par exemple, sur l'ensemble des cadavres d'oiseaux issus de rapports de suivi de mortalité, seuls 78,5 % sont datés (jour et mois de la découverte dans l'année) et 26,7 % sont positionnés par rapport à l'éolienne la plus proche (distance en mètres entre le cadavre et le mât de l'éolienne). A ce niveau, les chiroptères semblent avoir fait l'objet de suivis légèrement plus précis avec 81,7 % des cadavres datés et 59,7 % positionnés par rapport au mât d'éolienne le plus proche.

La mortalité réelle n'est estimée que dans un nombre très faible de dossiers (cf. p 56), soit parce que le protocole mis en œuvre ne permet pas d'appliquer les formules d'extrapolation (qui nécessitent de relever les surfaces réellement prospectées sous chacune des éoliennes à chaque visite et d'effectuer des tests de persistance des cadavres et d'efficacité de recherche une fois par saison), soit parce que le nombre de cadavres retrouvés est jugé trop faible pour que l'extrapolation ait un sens. En outre, lorsque les formules sont appliquées, elles donnent une estimation de la mortalité sur la période prospectée et pas sur l'année complète (sauf à se risquer à une extrapolation hasardeuse).

²² <http://www.thewindpower.net>

3 La mortalité constatée

3.1 Nombre de carcasses retrouvées

1 102 cas de mortalité directe d'oiseaux imputables aux éoliennes et 1 279 cadavres de chauves-souris ont pu être recensés dans le cadre de cette étude. Ils sont issus des documents suivants :

- rapports de suivis de mortalité précisant période de prospection, nombre de visites, surface théoriquement prospectée : 803 cas
- autres rapports de suivis ayant amené à la découverte de cas de mortalité : 61 cas
- découvertes fortuites : 5 cas
- compilation de Tobias Dürr (hors suivis précédents) : 47 cas
- compilation du CPIE Pays de Soulaines (hors suivis précédents) : 186 cas (la plupart sont sans doute issus de suivis de mortalité protocolés mais nous ne disposons pas de ces rapports).

Les 803 cadavres d'oiseaux mentionnés ci-dessus sont issus de 35 903 prospections réalisées sous 532 éoliennes appartenant à 91 parcs.

Sur l'ensemble de ces suivis, cela correspond à :

- 0,02 oiseau par prospection²³ (ou 1 oiseau toutes les 45 prospections) ;
- **0,74 oiseau par éolienne et par année de suivi**²⁴ ;
- 4,29 oiseaux par parc²⁵ et par année de suivi.

Toutefois, comme nous l'avons vu précédemment, **ces valeurs sont issues de suivis extrêmement variés qui ne sont pas toujours suffisamment robustes** pour rendre compte précisément de la mortalité causée par les éoliennes.

Si on se concentre sur les 31 parcs qui ont fait l'objet d'un suivi de mortalité d'au moins 26 semaines à raison d'au moins 1 prospection par semaine sur un rayon de prospection théorique d'au moins 50 m autour de chaque éolienne, alors 19 870 prospections réparties sur 189 éoliennes ont permis de découvrir 485 cadavres d'oiseaux.

Cela correspond à :

- 0,02 oiseau par prospection (ou 1 oiseau toutes les 41 prospections) ;
- **1,24 oiseau par éolienne et par année de suivi** ;
- 7,57 oiseaux par parc²⁶ et par année de suivi.

Enfin, si on ne considère que les 9 parcs qui ont fait l'objet d'un suivi d'au moins 48 semaines à raison d'au moins 1 prospection par semaine sur un rayon de prospection théorique d'au moins 50 m autour de chaque éolienne, alors 8 084 prospections réparties sur 49 éoliennes ont permis de découvrir 293 cadavres d'oiseaux.

²³ Une prospection s'entend comme la recherche active de cadavres sous une éolienne suivant un protocole décrit dans un rapport de suivi de mortalité. Selon la surface et la façon dont elle est parcourue par l'observateur, une prospection peut durer de 10 à 40 minutes.

²⁴ Comme vu en page 32, une « année de suivi » comprend, en moyenne, 25 semaines mais cette durée peut fortement varier.

²⁵ Le nombre moyen d'éoliennes suivies parmi ces 91 parcs était de 5,78.

²⁶ Le nombre moyen d'éoliennes suivies parmi ces 31 parcs était de 6,10.

Cela correspond à :

- 0,04 oiseau par prospection (ou 1 oiseau toutes les 28 prospections) ;
- **2,15 oiseaux par éolienne et par année de suivi ;**
- 11,72 oiseaux par parc²⁷ et par année de suivi.

Comme on le voit, il y a naturellement une corrélation forte entre le nombre de cadavres découverts et le nombre de prospections effectuées : plus on effectue de prospections, plus on a de chance de découvrir un nombre important de cadavres dans l'année.

On voit également, et cela est moins intuitif, que **les parcs qui ont fait l'objet du plus grand nombre de prospections dans l'année sont aussi ceux qui mettent en évidence le plus grand nombre de cadavres par prospection**. Cela s'explique sans doute par le fait que les parcs qui ont fait l'objet des suivis les plus robustes sont également ceux qui sont présumés avoir les enjeux avifaunistiques les plus forts. Ainsi, les 9 parcs évoqués ci-dessus se trouvent soit en ZPS (pour 5 d'entre eux) soit à proximité immédiate (476 m, 574 m, 1 027 m et 1 874 m de la ZPS la plus proche), ce qui tend à confirmer cette dernière hypothèse.

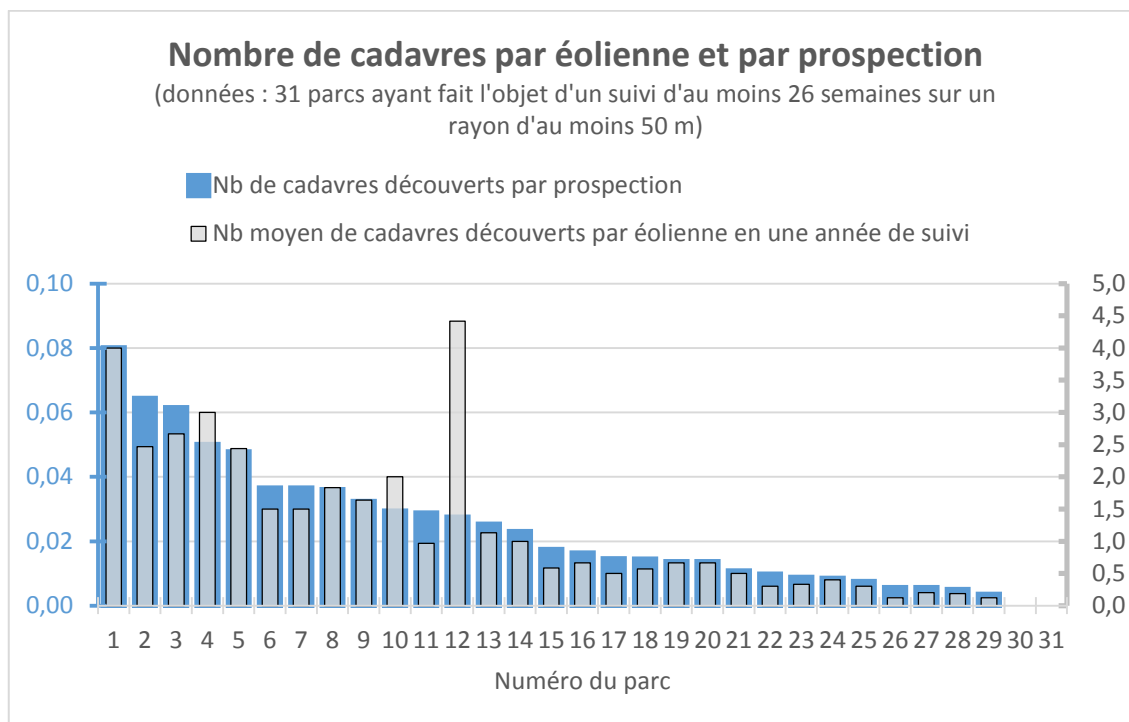
Le nombre de cas de mortalité constatés peut donc tout autant refléter le niveau de qualité du suivi réalisé (le nombre de prospections par an sur une surface donnée) que l'impact réel d'un parc (lié aux enjeux avifaunistiques présents sur le site). Dit autrement, les parcs où l'on retrouve le plus de cadavres ne sont pas nécessairement ceux responsables du plus grand nombre de cas de collision. A contrario, certains suivis ne sont pas suffisamment robustes pour démontrer l'absence d'impact, y compris lorsqu'aucun cadavre n'a été retrouvé.

Comme le montre la Figure 25, les 31 parcs ayant fait l'objet d'un suivi d'au moins 26 semaines à raison d'au moins 1 prospection par semaine sur un rayon de prospection théorique d'au moins 50 m montrent une corrélation relativement forte entre le nombre de cadavres découverts par prospection et le nombre de cadavres découverts sur l'année. Un parc, le n°12, échappe toutefois à cette corrélation du fait d'un effort de prospection « hors norme » (165 prospections en moyenne chaque année par éolienne).

On note également que quasiment tous ces parcs ont donné lieu à la découverte de cadavres d'oiseaux.

²⁷ Le nombre moyen d'éoliennes suivies parmi ces 9 parcs était de 5,44

Figure 25 : Nombre de cadavres par prospection / Nombre de cadavres par année de suivi



En absence d'informations sur la méthodologie de suivi mise en œuvre, l'efficacité de recherche de l'observateur ou la durée de persistance des cadavres, ces résultats ne permettent pas d'avoir une vision, même partielle, de la mortalité réelle causée par les éoliennes sur les oiseaux. C'est pourquoi il est important de pouvoir appliquer à chaque parc les formules permettant d'estimer la mortalité réelle (p56).

3.2 Espèces impactées

Parmi les 1 102 cadavres d'oiseaux retrouvés²⁸, 1 008 appartenant à 97 espèces ont pu être précisément identifiés.

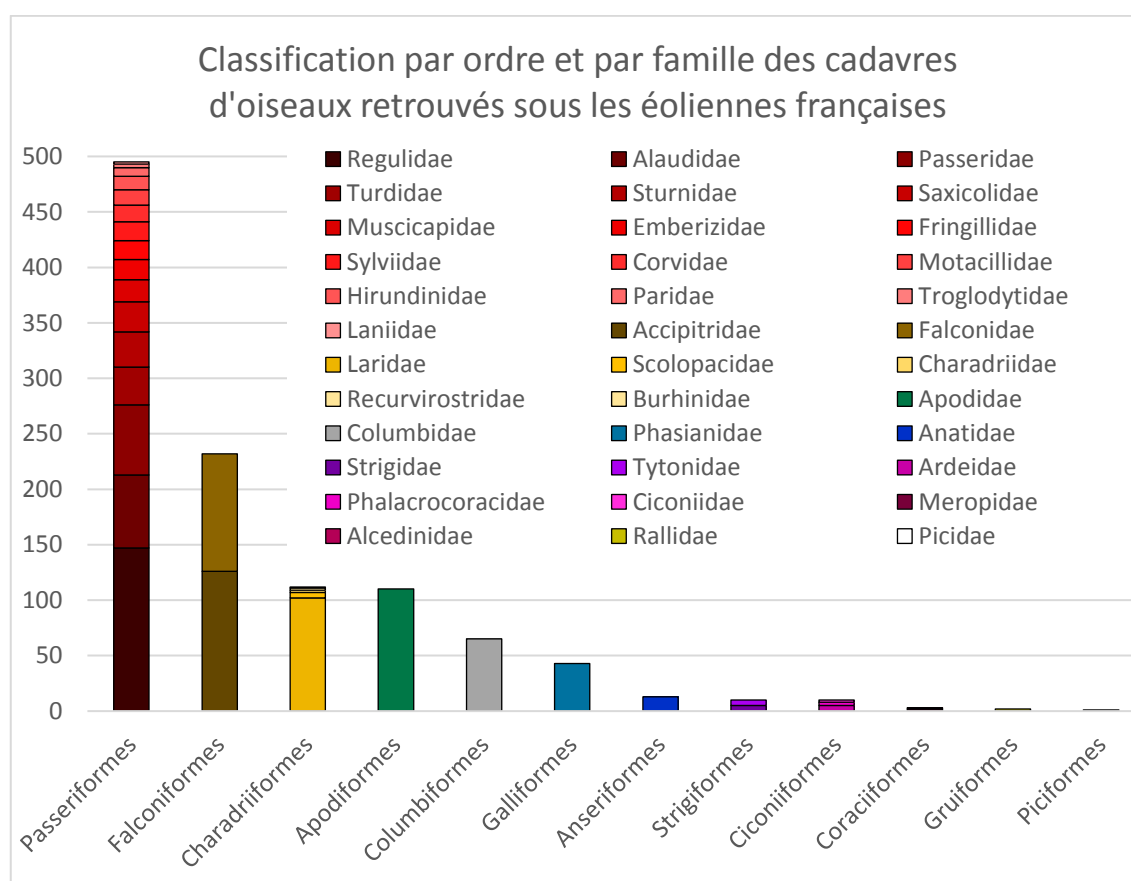
3.2.1 Classification par ordres et par familles

3.2.1.1 Passériformes

Avec 497 individus appartenant à au moins 43 espèces différentes, les passériformes représentent à eux seuls 49,3 % des cadavres d'oiseaux découverts (et identifiés) sous les éoliennes françaises (Figure 26). Parmi ceux-ci, les familles pour lesquels on constate le plus de cadavres sont les suivantes :

1. Regulidae (les roitelets) : 147
2. Alaudidae (les alouettes) : 66
3. Passeridae (les moineaux) : 63
4. Turdidae (les grives et merles) : 34
5. Sturnidae (les étourneaux sansonnets) : 32

Figure 26 : Classification par ordres et familles des cadavres d'oiseaux



²⁸ Voir la liste complète en

3.2.1.2 Falconiformes

Les Falconiformes constituent le deuxième cortège d'oiseaux impactés par les éoliennes en valeur absolue (Figure 26) mais sans doute le premier au regard de leurs effectifs de populations. En effet, alors que les passereaux évoqués au point précédent se dénombrent généralement par millions, voire par dizaines de millions si on considère les populations de passage, seules quelques espèces de rapaces diurnes dépassent le seuil symbolique des 10 000 couples nicheurs en France (Thiollay & Bretagnolle, 2004).

Les 233 cadavres répertoriés (23,1 % des cadavres identifiés) appartiennent aux deux familles suivantes :

- Accipitridae (Buse variable, milans, busards, Epervier d'Europe, Vautour fauve, Bondrée apivore, Aigle botté, Autour des palombes, Balbuzard pêcheur) : 127
- Falconidae (Faucons crécerelle, crécerellette et hobereau) : 106

3.2.1.3 Charadriiformes

Les 112 cas de mortalité constatés chez les Charadriiformes (Figure 26) représentent 11,1 % des cadavres et concernent pratiquement tous la famille des Laridae (102 cadavres de mouettes et goélands).

3.2.1.4 Apodiformes

Les 110 cas de mortalité constatés chez les Apodiformes concernent tous la famille des Apodidae, essentiellement des Martinets noir (98,2 %) qui constituent la deuxième espèce la plus retrouvée sous les éoliennes françaises.

3.2.2 Statut de protection et état de conservation

- Sur les 97 espèces retrouvées, 75 % sont protégées en France²⁹.
- Sur les 1 008 cadavres identifiés, 74 % appartiennent à des espèces protégées en France²⁹.
- 10,2 % des cadavres appartiennent à des espèces inscrites à l'Annexe I de la Directive Oiseaux³⁰.
- 8,4 % des cadavres appartiennent à des espèces considérées comme menacées sur la liste rouge française (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016) :
 - Vulnérable - VU (8,0 %),
 - En danger - EN (0,2 %)
 - En danger critique - CR (0,2 %).
- 36,6 % des cadavres appartiennent à des espèces considérées comme quasi-menacée (NT) sur la liste rouge (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016).

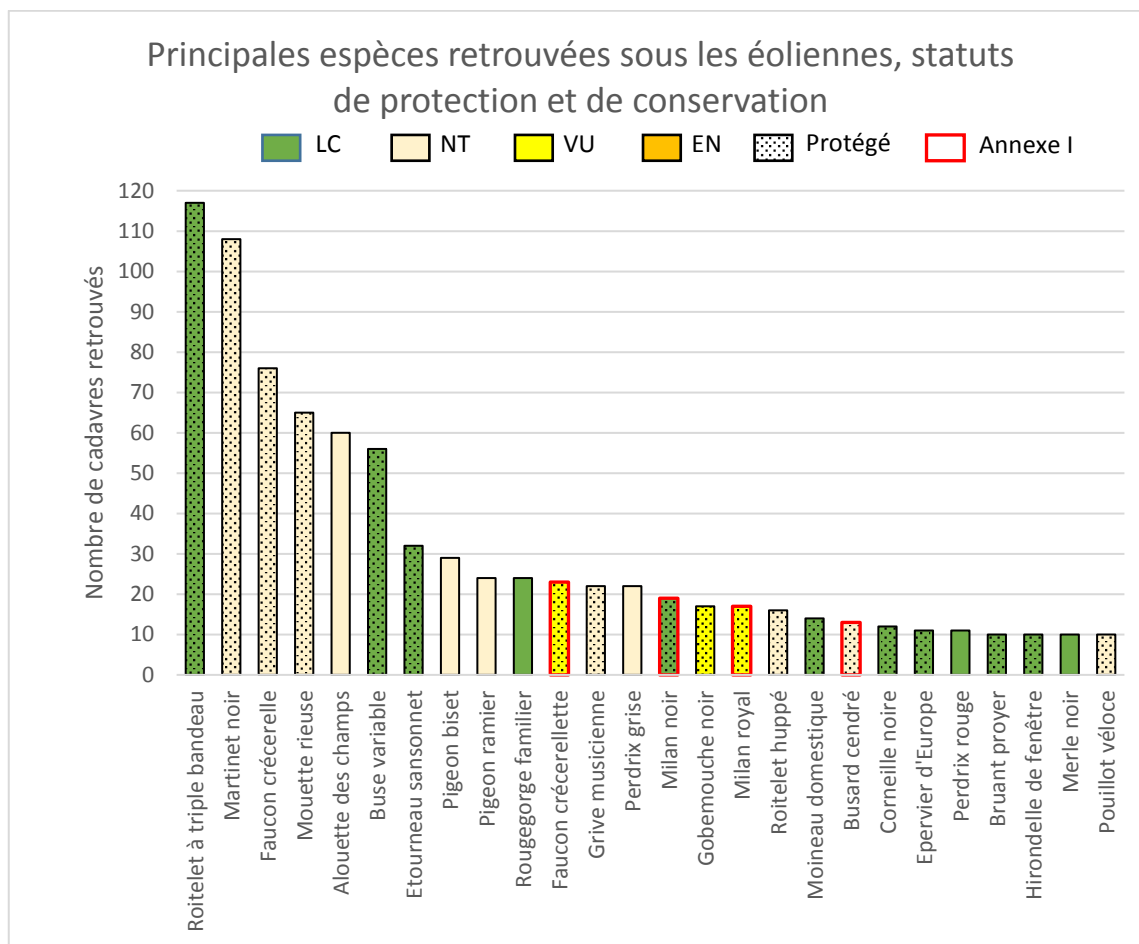
Seuls 19 % des cadavres retrouvés appartiennent à des espèces non protégées et ne présentant qu'une préoccupation mineure quant à leur état de conservation.

La Figure 27 récapitule le statut de protection et l'état de conservation des espèces les plus impactées (celles dont au moins 10 cadavres ont été retrouvés).

²⁹ [Arrêté du 29 octobre 2009](#) fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

³⁰ Annexe I de la Directive [2009/147/CE](#) du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages.

Figure 27 : Statut de protection et état de conservation des principales espèces retrouvées



LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacée, VU : Vulnérable, EN : En danger

3.2.3 Espèces d'oiseaux les plus retrouvées

3.2.3.1 *Roitelet à triple bandeau*

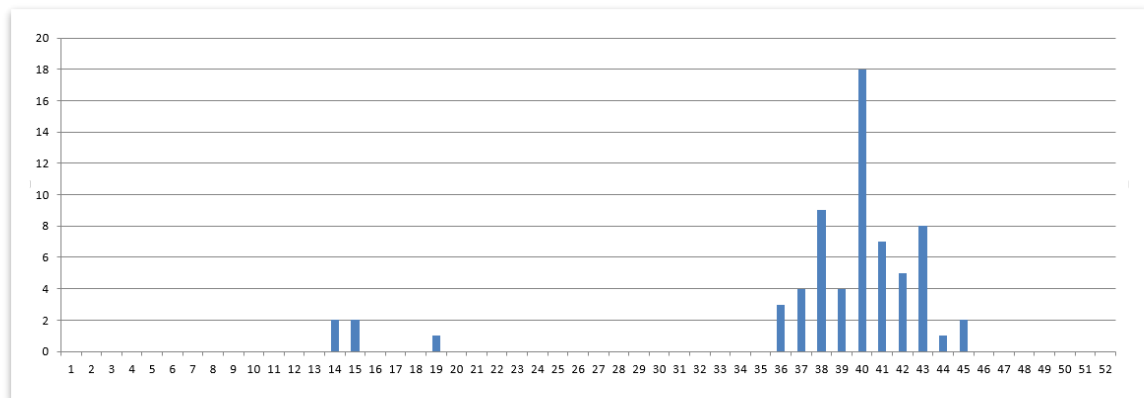
Avec 117 cas constatés, l'espèce la plus retrouvée sous les éoliennes française est le Roitelet à triple bandeau. Il s'agit d'une des plus petites espèces d'oiseaux d'Europe (9 cm environ pour un poids de 4 à 7 grammes pour un adulte).

Contrairement à certaines espèces que l'on ne retrouve que sous un ou deux parcs, les roitelets triple bandeau ont été retrouvés sur une trentaine de parcs répartis sur 17 départements.

L'analyse des dates de découverte des cadavres montre qu'il est exclusivement impacté en période de migration, principalement automnale (alors qu'il est présent sur le territoire toute l'année). Le pic sur le graphique ci-dessous correspond à la première semaine d'octobre.

Précisons que les 18 autres cas de mortalité constatés chez les roitelets huppés et roitelets indéterminés présentent le même profil.

Figure 28 : Semaines de découverte des Roitelets à triple bandeau



La prédominance de cette espèce dans les cas de mortalité constatés est intéressante à plus d'un titre. Tout d'abord, il s'agit d'un oiseau essentiellement forestier, qui évolue le plus souvent à couvert et on ne s'attendrait pas à ce qu'il soit affecté par les éoliennes. Mais les cas de mortalité se concentrent durant les périodes de migration, indiquant que pendant ces périodes, les oiseaux fréquentent des milieux très divers et que leur comportement diffère sensiblement, pouvant les exposer à des dangers différents de ceux existants sur les sites de reproduction ou d'hivernage.

Enfin, le fait de détecter la présence de cadavres de cet oiseau minuscule constitue un indicateur de la qualité relative des suivis. A priori, la détectabilité de ces cadavres est bien inférieure à celle des autres espèces impactées ou potentiellement impactées. Si l'on trouve des cadavres de roitelets lors des suivis protocolés, on devrait trouver avec d'autant plus de facilité les cadavres des espèces de plus grande taille.

3.2.3.2 *Martinet noir*

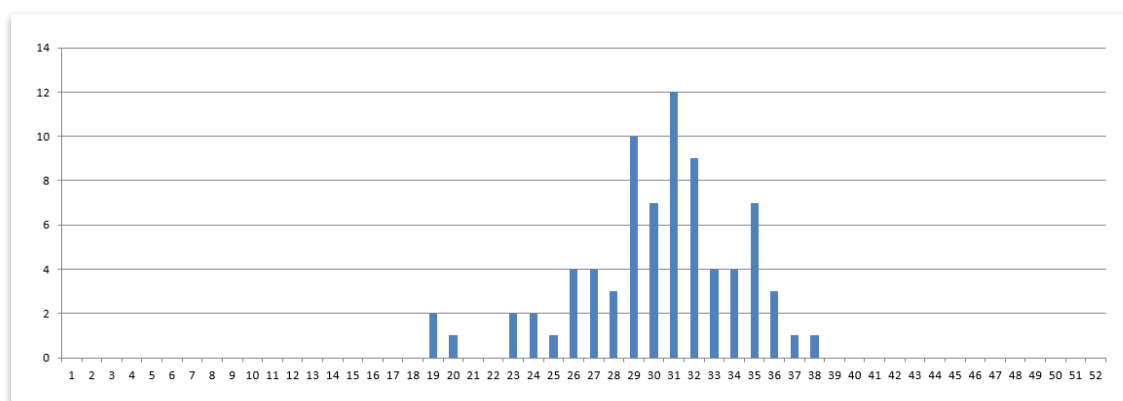
La deuxième espèce la plus retrouvée est le Martinet noir dont 108 cas de mortalité ont été répertoriés sur 38 parcs répartis sur 22 départements.

Présent en abondance en France dès le mois de mai, cet oiseau est principalement impacté entre la mi-juillet (semaine 29) et la mi-août (semaine 32), c'est-à-dire en période d'envol des jeunes et de migration (Figure 29).

Cette prédominance des martinets noirs dans les cas de mortalité recensés peut sembler étonnante au premier abord puisqu'il s'agit d'un oiseau extrêmement rapide et agile en vol. Toutefois, cette espèce a tendance à tenter la traversée des parcs – plutôt que de les contourner – et est soumise aux turbulences et à la dynamique des courants thermiques. Il est de plus possible qu'un certain nombre d'individus soient impactés lors de déplacements nocturnes.

Dans tous les cas, cette prédominance des martinets noirs dans les cas de mortalités constatés pourrait mettre en doute certains modèles mathématiques de collision basés sur la capacité supposée de telle ou telle espèce à éviter les pales des éoliennes.

Figure 29 : Semaines de découverte des Martinets noirs



3.2.3.3 Faucon crécerelle

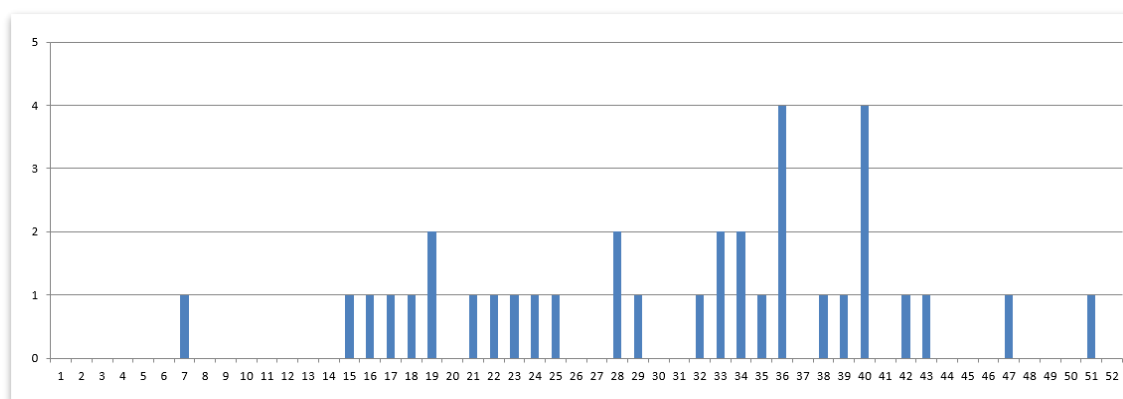
Avec 76 cadavres répertoriés répartis sur 15 départements, le Faucon crécerelle constitue la troisième espèce la plus retrouvée sous les éoliennes françaises.

Sédentaire, il est impacté de façon plus homogène sur l'année (Figure 30). Les « pics » visibles en semaines 36 et 40 sur la Figure 30 peuvent refléter le passage de migrateurs nordiques en période automnale. Ils peuvent également résulter d'un effort de prospection plus fort en cette saison.

Proportionnellement aux effectifs de population (68 000 à 84 000 couples nicheurs en France d'après Issa & Muller 2015), le Faucon crécerelle est bien plus impacté que les deux premières espèces. Classé « quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016), il est également plus impacté que la Buse variable dont les effectifs nationaux sont pourtant deux fois plus importants.

Le vol stationnaire utilisé par le Faucon crécerelle en action de chasse est souvent mis en avant pour expliquer sa sensibilité aux éoliennes (Barrios & Rodriguez, 2004).

Figure 30 : Semaines de découverte des Faucons crécerelles



3.2.3.4 Mouette rieuse

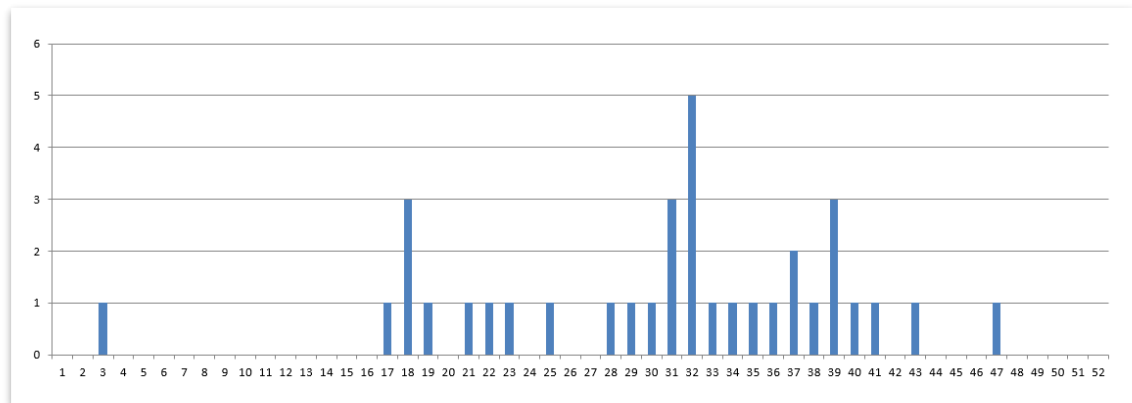
On notera que certaines espèces sont retrouvées sous un nombre très réduit d'éoliennes. C'est par exemple le cas des mouettes rieuses dont les 65 spécimens ont été retrouvés quasi exclusivement sur 2 parcs littoraux.

Là encore, le nombre de cas de collision constatés est très important au regard de l'effectif de population (25 000 couples nicheurs en France). Étonnamment, assez peu de cadavres ont été

retrouvés en automne et en hivers alors que des millions d'individus sont présents en France durant ces périodes.

Le nombre relativement restreint de cadavres correctement datés et l'hétérogénéité des périodes de suivi ne permettent pas de conclure définitivement sur le caractère déterminant ou non de la phénologie comme facteur de collision. L'accumulation de nouvelles données viendra préciser ces résultats.

Figure 31 : Semaines de découverte des Mouettes rieuses



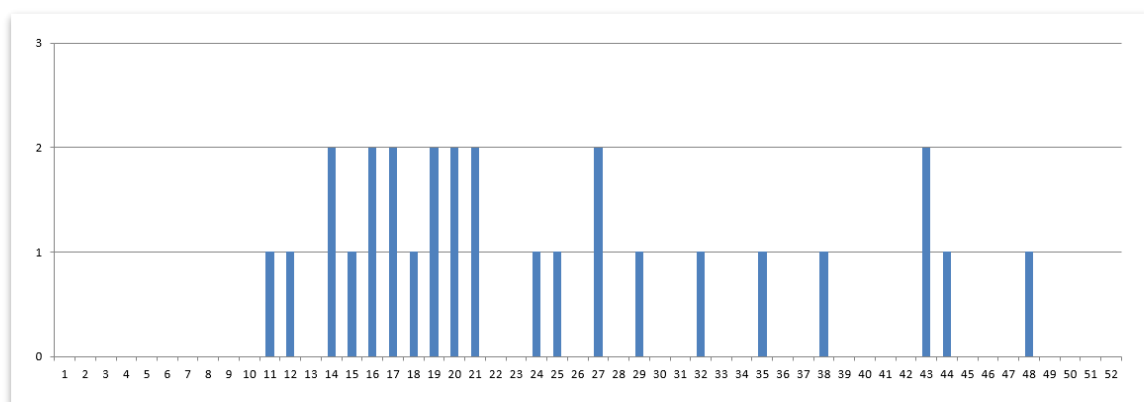
3.2.3.5 Alouette des champs

60 cas de mortalité ont été recensés pour cette espèce désormais classée « quasi menacée » sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine, principalement du fait de l'intensification des pratiques agricoles, de la régression des prairies naturelles et de la chasse (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016).

Aucun cas n'a été répertorié entre décembre et début mars (Figure 32) mais cela peut résulter d'un défaut de prospection durant la période d'hivernage dans les plaines agricoles présumées, à tort ou à raison, à plus faible enjeu que les autres habitats.

En valeur absolue, l'Alouette des champs est l'espèce la plus retrouvée en période de nidification sous les éoliennes françaises.

Figure 32 : Semaines de découverte des Alouettes des champs

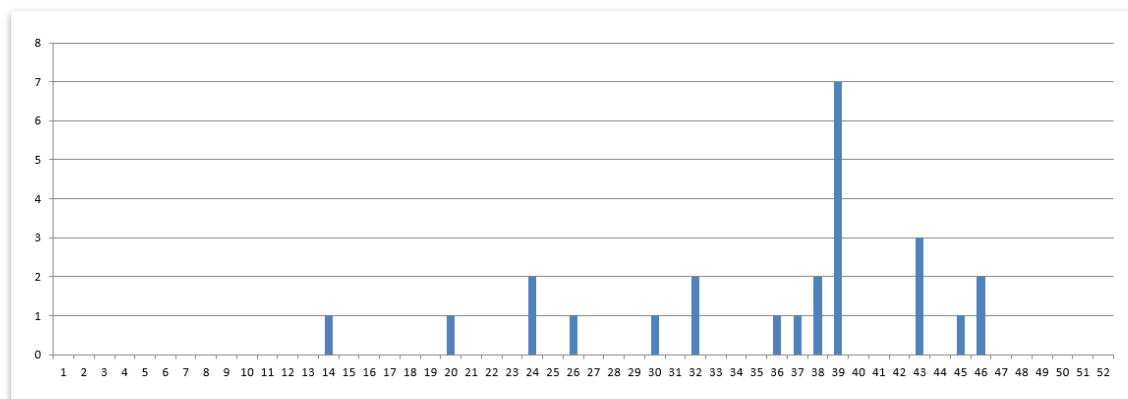


3.2.3.6 Buse variable

56 cas de mortalité ont été constatés sur ce rapace qui est, de loin, le plus abondant de France (125 000 à 163 000 couples nicheurs en France d'après Thiollay et Bretagnolle 2004).

Le pic en semaine 39 (dernière semaine de septembre) correspond vraisemblablement à la migration vers le sud (Figure 33). Toutefois, cette concentration sur une seule semaine est étonnante puisque ce mouvement s'étend bien au-delà du mois de septembre, d'autant que ce pic ne résulte pas de cas de mortalités multiples qui pourraient, par exemple, être causés par de mauvaises conditions météorologiques.

Figure 33 : Semaines de découverte des Buses variables

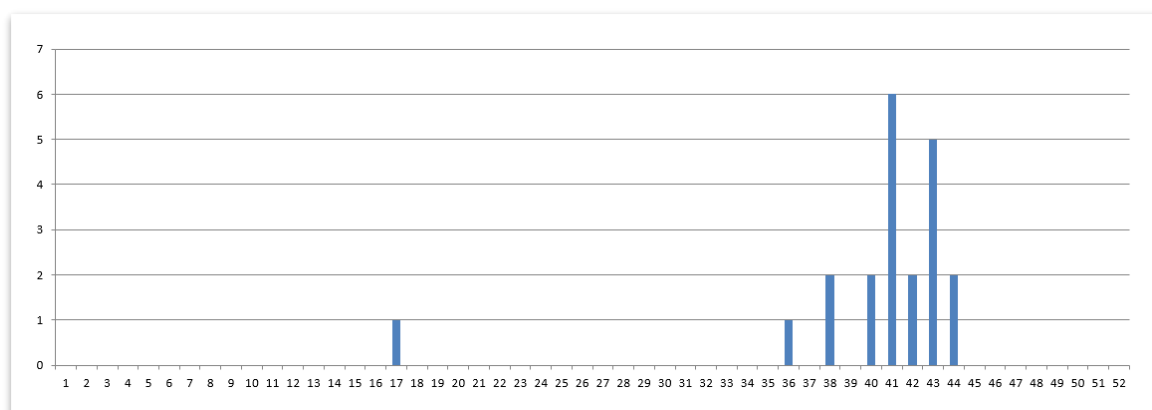


3.2.3.7 Rougegorge familier

24 Rougegorges familiaux ont été retrouvés au pied des éoliennes françaises. Il est intéressant de noter que les collisions ont été constatées exclusivement en période de migration alors que l'espèce est présente en nombre pendant toute l'année en France avec des effectifs compris entre 3,5 et 7 millions de couples (Issa & Muller, 2015).

La migration nocturne de ces passereaux explique sans doute les collisions.

Figure 34 : Semaines de découverte des Rougegorges familiaux



3.2.3.8 Faucon crécerellette

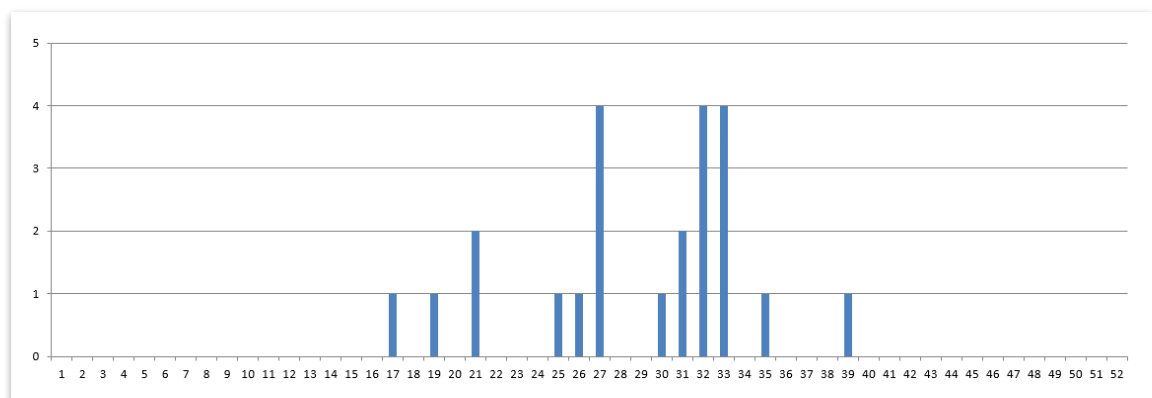
23 Faucons crécerellettes ont été retrouvés entre 2011 et 2015 sous un seul et même parc de l'Hérault situés en ZSC, à environ 1 km de la ZPS « Plaine de Villeveyrac-Montagnac ».

Au regard du nombre extrêmement réduit de couples nicheurs en France (436 suivant les données LPO 2014) cela en fait une des espèces les plus impactées par les éoliennes en France. D'autant, rappelons-le, qu'il est ici question des cas constatés et non de la mortalité réelle (estimée entre 32 et 82 individus pour la période 2011 - 2014).

Classé vulnérable (VU) sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016), le Faucon crécerellette est également inscrit à l'Annexe I de la Directive Oiseaux. C'est pourquoi le parc concerné fait l'objet d'une attention particulière de la part de la LPO Hérault, d'une part pour mesurer l'impact et, d'autre part, pour tenter de le réduire, principalement par la mise en œuvre de dispositifs techniques (DTBird couplé à des dispositifs d'effarouchement ou de mise à l'arrêt des machines).

Notons toutefois que la population locale de Faucons crécerellettes a tendance à croître chaque année. Ceci combiné avec les extensions successives du parc éolien augmente d'autant le risque de collisions.

Figure 35 : Semaines de découverte des Faucons crécerellettes

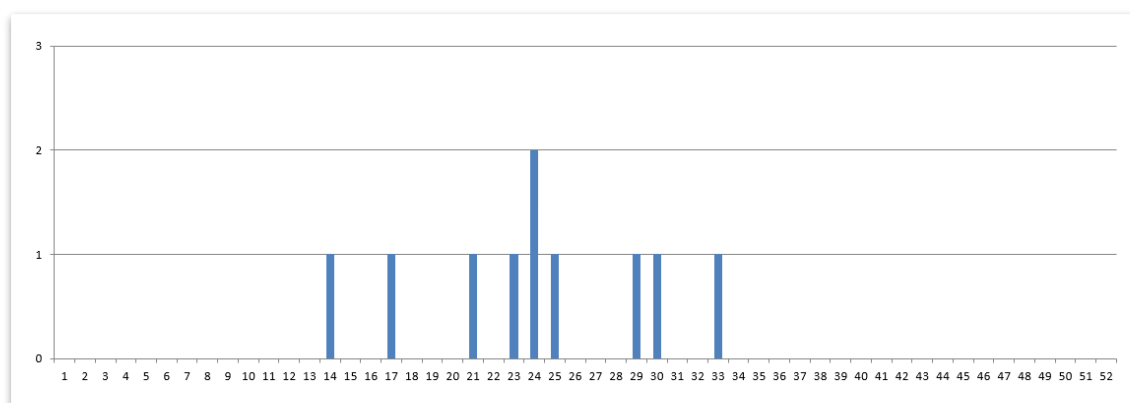


3.2.3.9 Milan noir

19 cas de mortalité ont été recensés chez ces rapaces diurnes inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux et dont les 25 755 couples nicheurs en France représentent un quart de la population européenne.

Si l'on s'en tient aux 10 cas pour lesquels la date de découverte est disponible, 70 % des collisions se sont produites en période de reproduction (de début avril à mi-juillet), le reste en migration postnuptiale (Figure 36).

Figure 36 : Semaines de découverte des Milans noirs



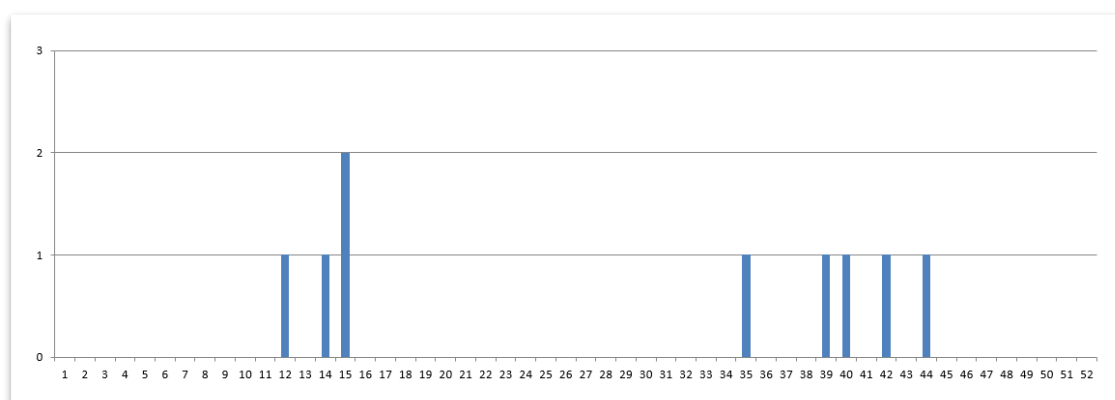
3.2.3.10 Milan royal

17 cas de mortalité ont été recensés, exclusivement en période de migration si l'on s'en tient aux 9 individus pour lesquels la date de découverte est disponible (Figure 37). Ce sont manifestement les oiseaux de passage, aussi beaucoup plus nombreux que les nicheurs, qui sont les plus impactés par les éoliennes.

Etonnamment, alors que le flux de migration tend à se concentrer sur quelques voies, notamment le long de la côte languedocienne, les cadavres ont été retrouvés sur des voies de migration diffuses situées plus au nord (14 de ces cadavres ont été retrouvés dans la région Grand Est tandis que les 3 derniers proviennent d'Auvergne).

Il n'est pas possible de conclure que les milans royaux nichant en France – 2 335 à 3 022 couples nicheurs en France (David F, Mionnet A et Riols R, 2012) – sont moins sensibles aux éoliennes que leurs conspécifiques de passage. Il est, en effet, plus probable que les services instructeurs se soient assurés qu'aucune éolienne ne soit implantée dans les espaces vitaux de ces rapaces patrimoniaux inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux et classés vulnérables (VU) sur la Liste rouge des espèces menacées en France. C'est ce que confirme l'expérience allemande qui montre que le nombre de cas de mortalité recensés chez les milans royaux est directement corrélé à la proximité des nids (Hötcker, 2017).

Figure 37 : Semaines de découverte des Milans royaux

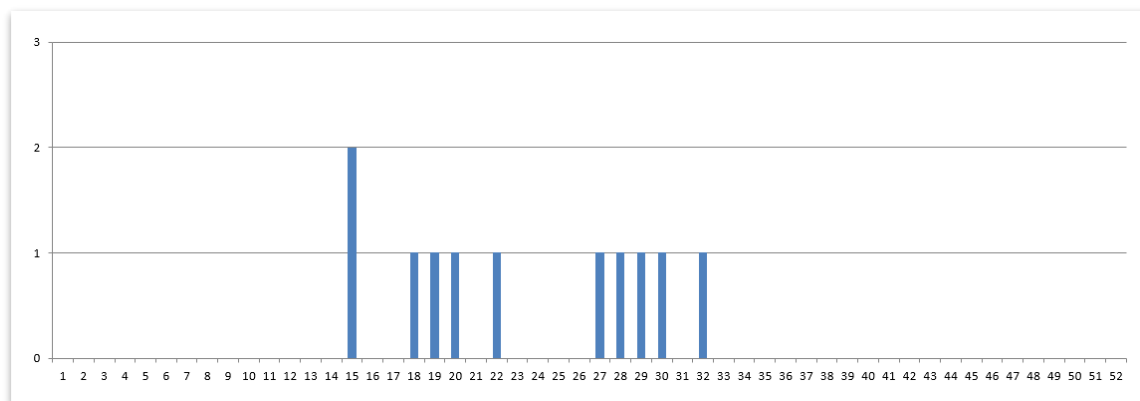


3.2.3.11 Busard cendré

13 cas de collision ont été recensés chez ces rapaces classés quasi-menacés (NT) dans la liste rouge des oiseaux de métropole et inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux. Les cadavres ont été retrouvés exclusivement en période de reproduction. Cette espèce migratrice n'hiverné pas

en France et l'effectif modeste de couples nicheurs présent dans les plaines céréalières comme en végétation sclérophylle – 3 800 à 5 100 couples nicheurs en France (Thiollay et Bretagnolle, 2004) – présente une sensibilité aux éoliennes à cette période (Figure 38).

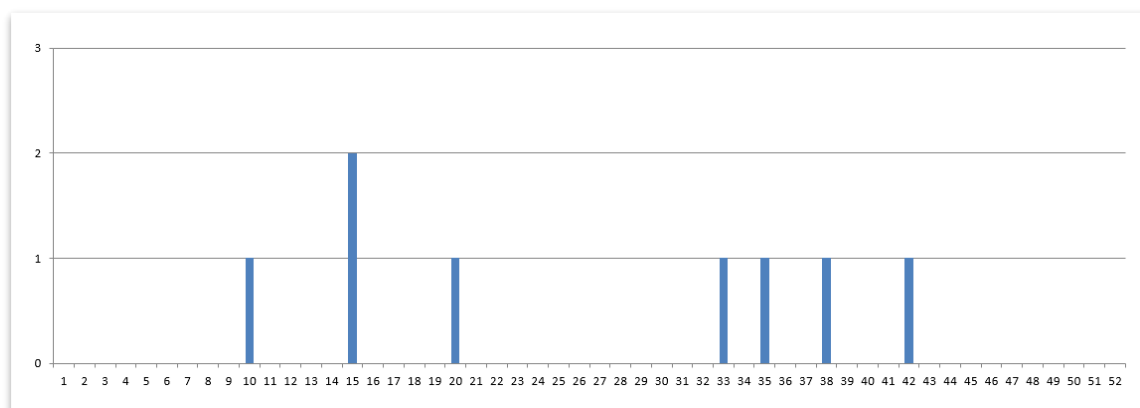
Figure 38 : Semaines de découverte des Busards cendrés



3.2.3.12 Epervier d'Europe

11 cas de collision ont été répertoriés pour 43 100 couples nicheurs en France. Impacté en périodes de migration, l'Epervier d'Europe présente aussi une sensibilité en période de reproduction, principalement sur des parcs situés en zones forestières ou bocagères que l'espèce exploite en activité de chasse.

Figure 39 : Semaines de découverte des Eperviers d'Europe



3.3 Espèces dont aucun cas de mortalité n'a été rapporté en France

Plusieurs raisons peuvent expliquer qu'aucun cas de mortalité n'ait été constaté pour certaines espèces.

D'une part, l'impact des éoliennes sur leur environnement dépend essentiellement des enjeux présents sur leur site d'implantation. Il est donc possible que certaines espèces n'aient pas été retrouvées sous les éoliennes françaises du fait que leur espace vital ou les voies de déplacement qu'elles empruntent ont été, au moins en partie, épargnés par le développement de l'éolien. Il convient donc de continuer à éviter ces sites à enjeux pour préserver les espèces concernées.

D'autre part, le comportement en vol des espèces semble jouer un rôle important dans le risque de collision. Celles qui volent systématiquement à une altitude inférieure au niveau du bas des pales sont certainement moins sensibles au risque de collision que celles qui chassent en vol stationnaire à hauteur de pales comme le Faucon crécerelle. De même, les espèces plus sensibles au dérangement et qui évitent les parcs éoliens seront également moins sujets aux collisions que celles qui les traversent chaque jour. Cet évitement peut toutefois se faire au prix d'une perte d'habitat et peut donc se traduire par un impact beaucoup plus important sur les populations que celui résultant de la perte de quelques individus par collision.

En outre, les données dont nous disposons, même si elles constituent la plus importante compilation réunie jusqu'à présent, ne couvrent qu'une petite partie des éoliennes actuellement exploitées en France (cf. 2.2 Données agrégées). Il est donc probable que certaines espèces ont subi des collisions avec des éoliennes sans que celles-ci n'aient encore été constatées ou rapportées.

On peut également supposer que la taille des individus influe sur les chances de découverte des cadavres. Il est ainsi peu probable de passer à côté d'un rapace lors d'une prospection protocolée alors qu'un petit passereau pourra échapper à la vigilance d'un observateur, en particulier lorsque la couverture végétale est dense. Le nombre relativement élevé de roitelets à triple bandeaux observé dans les suivis synthétisés dans la présente étude nuance cependant cet aspect, montrant que la détectabilité des cadavres, même de petite taille, peut être bonne.

Par ailleurs, suivant leur état de décomposition, certains cadavres peuvent ne pas être précisément identifiés. C'est en particulier le cas dans l'ordre des passériformes pour lesquels nous avons répertorié 48 cadavres indéterminés.

Enfin, plus une espèce est rare plus la probabilité de constater un cas de mortalité est faible.

3.3.1 Cas particulier de la Grue cendrée

A ce jour aucun cadavre de Grue cendrée n'a encore été répertorié en France. Ailleurs en Europe, la compilation réalisée par Tobias Dürr³¹ ne mentionne que 23 cas de mortalité, principalement en Allemagne, plaçant la Grue cendrée au 92^{ème} rang des espèces impactées en Europe.

Plusieurs raisons expliquent qu'aucun cadavre de Grue cendrée n'a encore été répertorié sous les éoliennes françaises.

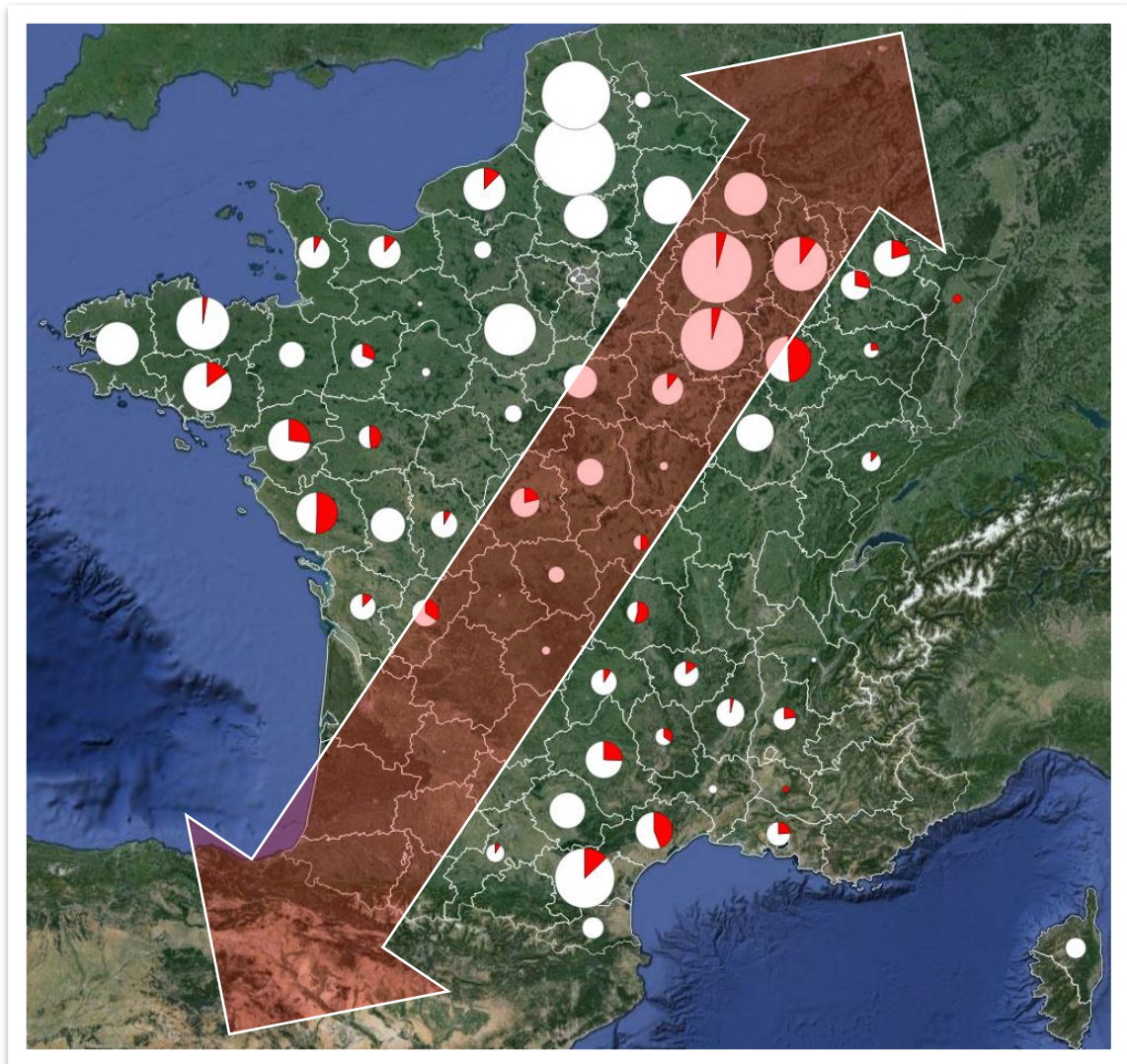
D'une part, lors de leur migration, les Grues cendrées volent principalement de jour lorsque les conditions météorologiques sont favorables et à des altitudes bien supérieures aux plus hautes

³¹ http://www.lugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/wka_voegel_eu.xls

éoliennes existantes ce qui leur permet de voir et, si besoin, de contourner les parcs éoliens bien en amont. C'est donc plus aux abords des sites de stationnement ou d'hivernage que les Grues présentent une sensibilité à l'éolien.

D'autre part, à l'exception notable de la Champagne-Ardenne et de la Lorraine, très peu d'éoliennes sont implantées sur le vaste couloir de migration des Grues cendrées (Figure 40).

Figure 40 : Principale voie de migration des Grues cendrées

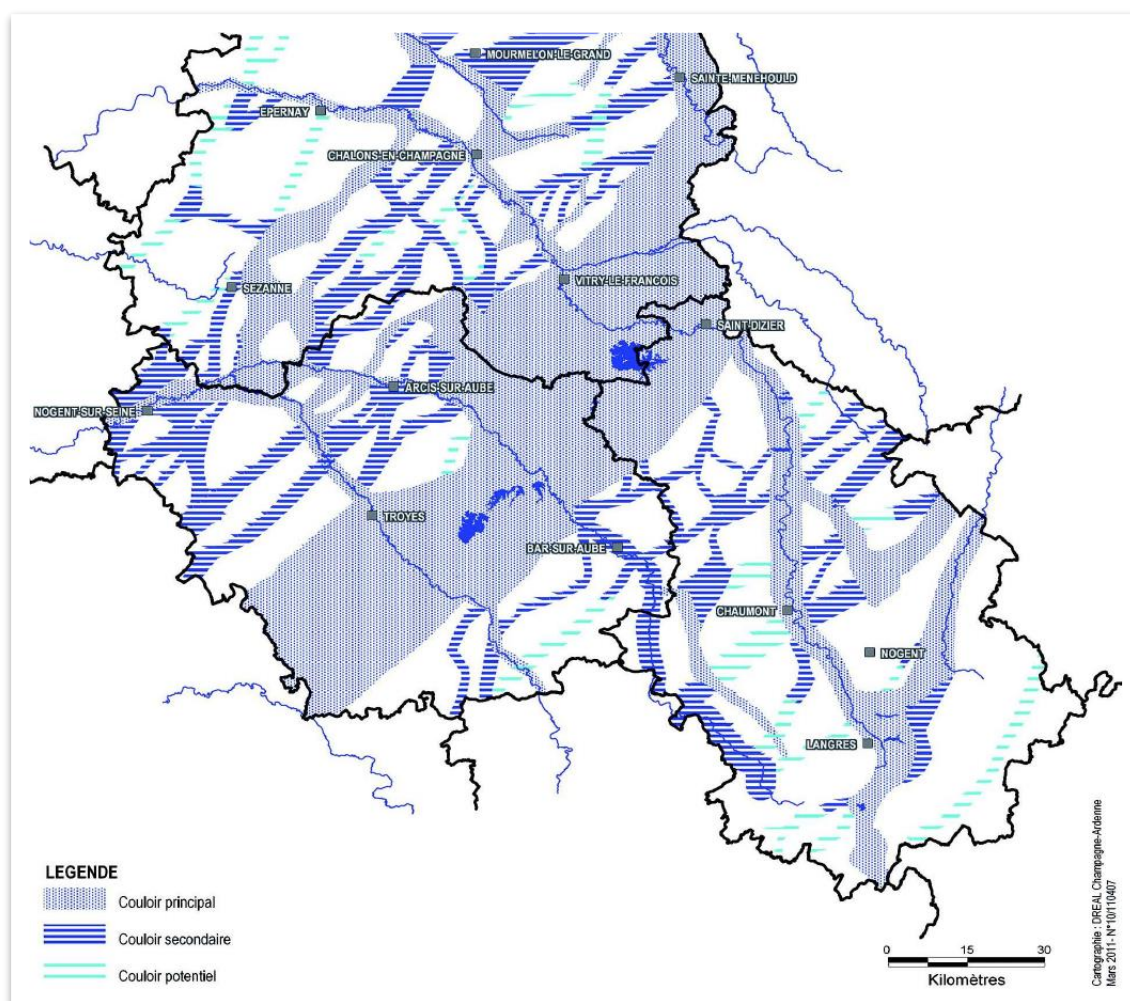


Toutefois, ces deux régions ont su, très vite, prendre en compte cette problématique dans des documents de cadrage comme les schémas régionaux éoliens. En Champagne-Ardenne, par exemple, les couloirs principaux, secondaires et potentiels de déplacement des Grues cendrées ainsi que les sites d'hivernage sont précisément cartographiés (Figure 41) et sont réellement pris en considération lors de l'instruction des dossiers éoliens. Ainsi, malgré le nombre très important d'éoliennes construites dans ces régions, très peu sont implantées dans ces secteurs à forts enjeux pour les Grues cendrées.

Enfin, nous ne disposons pas des suivis de mortalité de nombreux parcs, en particulier champenois et lorrains. Il est donc possible que des collisions aient eu lieu sans que nous en ayons connaissance.

Dans tous les cas, il importe de continuer à appliquer les mesures d'évitement et de réduction préconisées par les experts naturalistes lors du développement des projets (cf. p 75).

Figure 41 : SRE de Champagne-Ardenne - voies de migration des Grues cendrées (2012)



3.3.2 Autres espèces impactées en Europe

Notons que de nombreuses espèces ont été retrouvées sous des éoliennes européennes alors qu'elles n'ont pas encore été répertoriées en France. Ainsi, les 13 171 cadavres d'oiseaux répertoriés par Tobias Dürr depuis 1989 – principalement sous les parcs espagnols, allemands, belges, néerlandais et autrichiens – appartiennent à au moins 258 espèces, soit 161 de plus qu'en France (Dürr, 2017). Cela tient à la distribution géographique des espèces, à l'effort de prospection cumulé à l'échelle de plusieurs pays et, sans doute, au développement tardif de l'éolien en France qui a pu bénéficier des retours d'expériences de l'étranger pour intégrer la prise en compte de la biodiversité dans la planification de l'éolien sur son territoire.

Parmi les espèces patrimoniales les plus impactées en Europe, certaines sont rares ou absentes en France (en italique dans le Tableau 4).

Tableau 4 : Quelques espèces patrimoniales retrouvées ailleurs en Europe mais pas en France

Nom commun	Catégorie en Liste rouge française	Nombre de cas d'après Dürr_04/2017
<i>Pygargue à queue blanche</i>	CR	297
<i>Cochevis de Thekla</i>	EN	187
Sterne pierregarin	LC	167
<i>Alouette calandre</i>	EN	75
Circaète Jean-le-blanc	LC	53
Busard des roseaux	NT	48
Faucon pèlerin	LC	26
Vautour percnoptère	EN	19
Grue cendrée	CR	23
Aigle royal	VU	22
Vautour moine	EN	3
Aigle de Bonelli	EN	1
Outarde canepetière	EN	1

A contrario, si on se réfère à la compilation de Tobias Dürr, quatre espèces n'ont été répertoriées que sous les éoliennes françaises, ce qui ne reflète pas la distribution européenne de ces espèces :

- Courlis corlieu (2)
- Martin-pêcheur d'Europe (1)
- Nette rousse (1)
- Bécassine sourde (1)

4 L'estimation de la mortalité réelle

4.1 Généralités

Le nombre de cas de mortalité constatés peut tout autant refléter le niveau de qualité du suivi réalisé que l'impact réel d'un parc. Dit autrement, les parcs où l'on retrouve le plus de cadavres ne sont pas nécessairement ceux responsables du plus grand nombre de cas de collision. A contrario, certains suivis ne sont pas suffisamment robustes pour démontrer l'absence d'impact, y compris lorsqu'aucun cadavre n'a été retrouvé.

Plusieurs formules existent pour estimer la mortalité réelle d'un parc à partir du nombre de cadavres constatés (Winkelmann, 1989), (Erickson, 2000), (Jones, 2009), (Huso, 2010).

Elles utilisent, d'une façon plus ou moins complexe, les variables suivantes :

1. la surface réellement prospectée ;
2. le taux de détection (qui reflète tout autant la densité de la couverture végétale que l'efficacité de l'observateur) ;
3. la durée entre deux prospections ;
4. la durée moyenne de persistance des cadavres (qui dépend de l'activité des prédateurs et des nécrophages ainsi que de la vitesse de décomposition).

La plupart de ces variables fluctuent en fonction des saisons et de l'évolution de la couverture végétale, c'est pourquoi des tests de détection et de persistance des cadavres doivent être réalisés au moins une fois par saison. Ces variables, tout comme le nombre de cadavres et les espèces auxquelles ils appartiennent varient également d'une année sur l'autre. Pour les parcs ayant bénéficié d'un suivi pluriannuel, la mortalité réelle estimée peut parfois varier d'un facteur 3 suivant les années. Il convient donc de prendre avec beaucoup de prudence les résultats de ces formules, en particulier pour les parcs dont les suivis n'ont pas été réitérés.

De plus, ces formules ont été conçues, à l'origine, pour quantifier la mortalité des chauves-souris et ont été adaptées aux oiseaux, en particulier par le choix de leurres et de cadavres témoins adaptés pour la réalisation des tests d'efficacité de l'observateur et de persistance des cadavres. Reste qu'elles demeurent incapables de prendre en considération de manière différenciée les espèces nicheuses, migratrices ou hivernantes, rendant toute estimation annuelle de la mortalité impossible pour tout parc n'ayant pas fait l'objet d'un suivi couvrant l'ensemble des saisons.

Comme nous allons le voir, en France, rares sont les parcs à avoir fait l'objet d'un protocole quantifiant avec précision ces quatre paramètres ; encore plus rares sont les rapports mettant à disposition l'ensemble des données brutes permettant de compiler ces données.

Précisons que l'application de ces formules ne donne un résultat que sur la période qui a fait l'objet de prospections car la plupart des espèces ne sont pas présentes pendant toutes les phases de l'année (reproduction, migrations, hivernage) et peuvent également faire un usage différent du site au cours de ces périodes ou avoir un comportement plus ou moins à risque vis-à-vis des éoliennes (parade nuptiale, changement de territoire de chasse en fonction du couvert végétal, etc.). En particulier, il n'est pas possible d'estimer la mortalité d'un parc sur une année entière si le suivi de mortalité n'a pas porté sur l'ensemble des saisons. Par exemple, si un suivi de mortalité dure 3 mois et ne couvre que la période de migration automnale, il va mener à la découverte d'un certain nombre de cadavres d'espèces sédentaires et de passage, laissant de côté les espèces hivernantes et celles présentes en migration printanière. Il va également passer

à côté de comportements potentiellement à risque de certains oiseaux en période de reproduction (parade, nourrissage, envol des jeunes, etc.). Dans ce cas précis, essayer de déduire le nombre et les espèces d'oiseaux tués par les éoliennes en décembre ou en juillet en se basant uniquement sur le nombre d'oiseaux migrateurs tués en octobre serait totalement impossible.

Enfin, ces calculs n'ont de sens que si le suivi de mortalité a mis en évidence un nombre suffisant de cadavres pour procéder à une extrapolation. Or, comme on l'a vu précédemment, même sur les 31 parcs ayant fait l'objet d'un suivi de mortalité d'au moins 26 semaines sous chacune des éoliennes à raison d'au moins une prospection par semaine sur un rayon de prospection d'au moins 50 m, et bien que ceux-ci soient majoritairement implantés sur des sites supposés à enjeux (proches de ZPS et en dehors des plaines agricoles), le nombre moyen de cadavres retrouvés n'est à ce jour que de 1,2 par éolienne et par an. Et seuls 7 parcs français ont fait l'objet de suivis suffisamment robuste – ou causent suffisamment d'impact – pour que soient découverts plus de 2 cadavres par éolienne et par an.

Les estimations de la mortalité réelle peuvent varier sensiblement en fonction de la formule utilisée. Les données dont nous disposons confirment ce qui est généralement admis par les structures en charge des suivis de mortalité, à savoir que :

- la formule de Winkelmann (1989) a 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 l'un de l'autre.

Par la suite, nous ne considérerons que les parcs pour lesquels ces 4 formules auront été appliquées et prendrons en compte la moyenne des 4 valeurs comme estimation de la mortalité réelle.

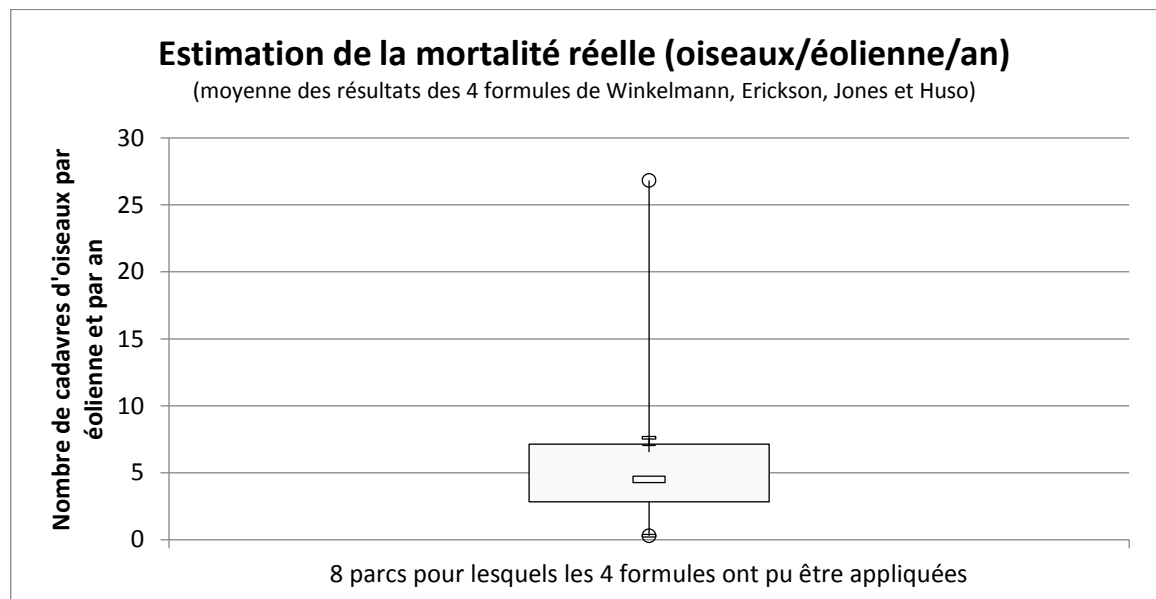
4.2 Discussion

Parmi les parcs pour lesquels nous disposons de suivis de mortalité :

- 10 parcs ont fait l'objet d'une estimation de la mortalité réelle pour les oiseaux (15 pour les chauves-souris) ;
- parmi ceux-ci, seuls 8 parcs ont appliqué les 4 formules « standards » de Winkelmann, Erickson, Jones et Huso, tandis que 2 ont utilisé leur propre méthode d'extrapolation ;
- ces 8 parcs présentent tous des sensibilités environnementales fortes :
 - 4 sont situés en ZPS (26 éoliennes) ;
 - 2 sont situés à moins de 1 000 m d'une ZPS (18 éoliennes) ;
 - 1 en forêts de feuillus, de conifères et de végétation arbustive en mutation, en ZNIEFF de type I et II (16 éoliennes) ;
 - 1 dans une imbrication complexe de prairies, de forêt de feuillus et de conifères, de végétation arbustive en mutation et de système culturaux et parcellaires complexes limitrophe d'une ZNIEFF de type I et d'une ZSC (29 éoliennes) ;
- 4 parcs seulement ont appliqué les 4 formules « standards » et ont fait l'objet de suivis de mortalité couvrant toute l'année à raison d'au moins une visite par semaine (3 en ZPS et 1 à environ 1 000 m d'une ZPS). Les autres parcs ont été suivis entre 31 et 37 semaines dans l'année.

La Figure 42 montre la mortalité réelle estimée des 8 parcs pour lesquels les 4 formules d'extrapolation ont été appliquées.

Figure 42 : Estimation de la mortalité réelle dans les rapports de suivi de mortalité



Note : se référer à l'Annexe III page 91 pour la lecture des diagrammes en boîte.

Pour ces huit parcs, la mortalité réelle estimée dans les rapports varie de 0,3 à 26,8 oiseaux tués par éolienne et par an, la médiane s'établissant à 4,5 et la moyenne à 7,0.

Le parc ayant tué le moins d'oiseaux est celui qui est situé le plus loin d'une ZPS (14 km).

Il est important de s'intéresser de plus près au parc pour lequel la mortalité réelle a été estimée à 26,8 oiseaux par éolienne et par an. En effet, celui-ci se détache fortement des 7 autres parcs qui présentent entre eux une plus forte homogénéité, avec une mortalité réelle estimée entre 0,3 et 7,6 oiseaux tués par éolienne et par an, une moyenne de 4,2 et une médiane de 3,6.

D'une part, ce parc situé en ZPS impacte un grand nombre de pigeons biset domestiques du fait de la présence d'un silo à grain au centre de celui-ci. Il s'agit là d'une singularité puisque ce parc concentre à lui seul 80 % des cadavres de pigeons biset domestiques répertoriés dans les rapports de suivi dont nous disposons. Ces oiseaux sédentaires représentent près de la moitié des cadavres d'oiseaux retrouvés sur ce parc et viennent, en particulier, gonfler le nombre de cas de mortalité constatés en hiver par rapport aux autres parcs.

D'autre part, ce parc a fait l'objet de prospections sur une surface théorique de 22 500 m² (carré de 150 x 150 m). La mortalité réelle imputable à ce parc a donc été estimée sur la base de cette surface alors que celle des autres parcs a été estimée sur la base d'une surface de 10 000 m² (carré de 100 x 100 m) et s'en trouve donc sans doute minorée puisque les cadavres qui auraient pu être projetés en dehors de ce carré ont été ignorés. Il n'est toutefois pas possible de faire une simple règle de trois pour extrapoler la mortalité des parcs suivis sur 10 000 m² à une plus grande surface. En effet, à partir d'une trentaine de mètres plus on s'éloigne de l'éolienne plus le nombre de cadavres découverts diminue sans que l'on sache exactement dans quelle mesure, le nombre de parcs ayant fait l'objet de prospections au-delà de 50 m étant extrêmement réduit.

Enfin, selon les auteurs de ce suivi, la formule de Winkelmann (1989) n'est pas adaptée à ce parc, du fait d'un taux de persistance des cadavres relativement faible, et semble produire une

large surestimation de la mortalité (variation du simple au triple avec cette méthode par rapport aux trois autres plus récentes et réputées plus précises, alors que ce facteur n'est que de 1,5 pour les 7 autres parcs). De ce fait, les auteurs de ce suivi concluent à une mortalité comprise entre 16,21 à 20,39 oiseaux tués par éolienne et par an (et non pas 26,8 comme évoqué plus haut).

La mortalité réelle des 7 parcs a donc sans doute été légèrement sous-estimée du fait de la non prise en compte des cadavres potentiellement projetés au-delà de 50 m tandis que le parc le plus mortifère présente, lui, une mortalité exceptionnelle due à la présence d'un silo à grain en son cœur, mortalité qui a pu, de plus, être surestimée par l'application de la formule de Winkelmann, peu adaptée à la forte prédation sur le site.

En appliquant les résultats de l'étude de Hull et Muir (2010) au contexte français (prise en compte de la taille des éoliennes et de la répartition des cadavres par classe de poids), on peut estimer que 15 à 20 % des cadavres sont projetés au-delà du rayon de recherche pour les 7 parcs suivis sur 10 000 m². En considérant que la mortalité réelle du 8^{ème} parc peut être estimée à 18,3 oiseaux par éolienne et par an (moyenne de 16,21 et 20,39), alors **la mortalité moyenne de l'ensemble de ces parcs s'établirait entre 6,6 et 7,2 oiseaux par éoliennes et par an** (et la médiane entre 5,3 et 6,0).

Au final, ces extrapolations concernent 1,38 % des éoliennes françaises. Ce faible échantillon, qui plus est non représentatif des parcs éoliens français puisqu'il se concentre sur des parcs pressentis comme présentant des enjeux forts vis-à-vis de l'avifaune ou des chiroptères, ne permet pas d'établir une estimation de la mortalité directe due à l'ensemble des éoliennes françaises sur les oiseaux.

La compilation de ces données permet toutefois de montrer que la mortalité occasionnée par les éoliennes est extrêmement complexe à estimer précisément, qu'elle peut varier fortement d'un parc à l'autre et qu'elle peut s'avérer problématique, en particulier pour les parcs situés à proximité de ZPS, lorsque les espèces impactées sont dans un mauvais état de conservation au niveau local ou national.

Cette analyse mériterait d'être complétée par l'agrégation de nouvelles données au fil du temps. Elle souligne aussi le besoin impératif d'améliorer la qualité et la fiabilité des données produites dans le cadre des études de suivis, de même que les méthodes d'estimation des mortalités réelles.

4.3 Comparaison avec d'autres pays

4.3.1 [Canada](#)

Bird Studies Canada (partenaire BirdLife au Canada) a compilé les rapports de suivi de mortalité réalisés entre 2006 et 2014 sur 65 parcs éoliens (1 889 éoliennes) afin d'estimer l'impact des éoliennes sur les oiseaux et les chauves-souris (Canada Bird Studies, 2016).

Ces suivis, relativement similaires à ceux réalisés en France, ont permis de découvrir 2 182 cadavres d'oiseaux appartenant à 173 espèces différentes. La mortalité réelle est estimée à partir d'une équation du ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO), proche de la formule de Huso (2010), prenant en compte un correcteur surfacique, l'efficacité pondérée des observateurs et la persistance des carcasses.

Cette étude estime que la mortalité aviaire imputable aux éoliennes est de l'ordre de 4,71 oiseaux par éolienne et par an entre le 1^{er} mai et le 31 octobre (intervalle de confiance de

95 % : $\pm 0,54$). Comme pour les suivis réalisés en France, les calculs sont effectués sur un rayon de 50 m autour de chaque éolienne, c'est pourquoi cette étude reconnaît que ce résultat peut sous-estimer la mortalité réelle.

Une étude canadienne plus ancienne mais prenant mieux en compte la projection de cadavres au-delà de 50 m estimait la mortalité moyenne à 8,2 oiseaux par éolienne et par an (Zimmerling, Pomeroy, d'Entremont, & Francis, 2013).

4.3.2 [Etats-Unis](#)

Plusieurs études se sont intéressées à la mortalité aviaire causée par les éoliennes aux Etats-Unis (Smallwood, 2013), (Erickson, Johnson, & Young, 2005). La plus récente (Loss, Will, & Marra, 2013) se concentre sur les éoliennes à mât tubulaire (semblables à celles implantées en France) et exclue les éoliennes en treillis haubanées telles que celles qui sont implantées à Altamont Pass (Californie). Cette étude conclut que la mortalité directe causée par les éoliennes est comprise entre 3,15 et 7,35 oiseaux par an et par éolienne (moyenne 5,25).

Cette estimation est légèrement inférieure au résultat que nous avons pu obtenir concernant les 8 parcs français qui ont fait l'objet d'estimations de la mortalité, toutefois ces derniers présentent à priori de forts enjeux ornithologiques (proximité des ZPS), sans préjuger de ce qu'ils peuvent être aux Etats-Unis.

4.3.3 [Espagne](#)

La Société espagnole d'ornithologie (SEO BirdLife) a fait le constat d'un impact important des éoliennes espagnoles sur les oiseaux, en particulier sur les Vautours fauves, et a rédigé des lignes directrices pour l'évaluation des impacts des parcs éoliens sur les vertébrés volants (Atienza, Fierro, Infante, Valls, & Dominguez, 2014). Ce rapport explique que les enjeux environnementaux n'ont jamais été pris en compte dans la planification de l'éolien en Espagne et que de nombreux parcs espagnols ont des impacts importants sur l'environnement, en particulier, du fait de l'insuffisance des études d'impacts qui ont mené à leur réalisation.

C'est ainsi que 2 566 cadavres de Vautours fauves ont été retrouvés sous 3 458 des 17 780 éoliennes espagnoles (Camiña, 2013), auxquels s'ajoutent 8 Vautours percnoptère, 3 Vautours moine, 1 Vautour de Rüppell et 1 Vautour africain. La répartition géographique des Vautours fauves explique qu'une telle mortalité n'est pas observée dans les autres pays.

L'étude de SEO BirdLife s'attache également à évaluer le nombre d'oiseaux tués par les éoliennes chaque année en Espagne et avance le chiffre de 8 000 000 d'oiseaux – soit 450 oiseaux par éolienne et par an – et précise qu'en aucun cas cette mortalité ne peut être inférieure à 1 000 000 – soit 56 oiseaux par éolienne et par an. Cette estimation diffère sensiblement des résultats obtenus dans les autres pays d'Europe ou d'Amérique du nord qui dépassent rarement 10 oiseaux par éolienne et par an à l'échelle d'un pays. Il convient donc de s'intéresser de plus près aux paramètres qui ont conduit à cette évaluation.

La mortalité constatée : SEO BirdLife a observé que les suivis de mortalité réalisés en Espagne permettaient de découvrir 2 cadavres d'oiseaux en moyenne par éolienne et par an alors même que les parcs ne sont prospectés que tous les 15 jours. Il s'agit, de fait, d'une mortalité importante puisqu'en France une telle mortalité n'est constatée que pour 7 parcs (sur les 91 pour lesquels nous disposons de rapports de suivis de mortalité) situés sur des sites considérés à enjeux forts et qui ont fait l'objet de suivis bien plus robustes que les parcs ibériques.

Globalement, la mortalité constatée en Espagne est pratiquement deux fois plus importante que celle constatée en France.

Le taux de prédation : Du fait d'un intervalle de quinze jours entre deux prospections, SEO BirdLife a considéré que 95 % des cadavres disparaissaient avant prospection en Espagne (quel que soit le site d'implantation et la saison). Les parcs français ont, quant à eux, été prospectés, en moyenne, toutes les semaines et les tests de persistance des cadavres ne montrent donc pas de tels taux de disparition entre deux prospection. Le suivi réalisé sur le parc de Bouin (85) de 2003 à 2006 montre plutôt des taux variant entre 15 et 55 % suivant les saisons.

L'efficacité de détection : SEO BirdLife considère que seuls 13 % des cadavres présents sur la zone prospectée sont retrouvés. Encore une fois, les tests réalisés sur les parcs français indiquent des taux de découverte bien supérieurs – entre 47 et 78 % pour le parc de Bouin (85) suivant les saisons. Sans information supplémentaire sur les parcs espagnols et les suivis mis en œuvre on peut supposer que ce taux très faible pris en compte par SEO BirdLife reflète à la fois la couverture végétale particulière des parcs espagnols (forêts, terres boisées et broussailles méditerranéennes) et éventuellement le manque de robustesse des suivis de mortalité possiblement plus orientés vers la découverte des grands vautours que des petits passereaux (ou des chauves-souris) avec, par exemple, la mise en œuvre de transects plus larges.

La formule utilisée : SEO BirdLife n'a utilisé que la formule de Winkelmann (1989), la plus simple à mettre en œuvre, mais sans doute la moins appropriée dans un contexte où la majorité des cadavres est supposée disparaître avant prospection du fait d'une forte prédation. Comme nous l'avons vu précédemment, dans ces conditions, cette formule a tendance à fortement surévaluer la mortalité.

Enfin, SEO BirdLife ajoute à ces 8 000 000 d'oiseaux tués par les éoliennes au moins 1 000 000 d'oiseaux tués par les lignes électriques dédiées (en moyenne 9 km de lignes par parc). Précisons qu'en France toutes les lignes inter-éoliennes (à l'intérieur du parc) ainsi que le raccordement jusqu'au poste source du gestionnaire de réseau sont intégralement enterrées.

S'il convient donc de regarder avec un œil critique la façon dont l'éolien a pu être développé en Espagne sans prise en compte de l'environnement et d'en tirer les leçons – ne pas implanter d'éoliennes dans les espaces vitaux des rapaces – il convient également d'éviter toute extrapolation hâtive de ces estimations de mortalité à notre pays.

5 Les facteurs d'impacts

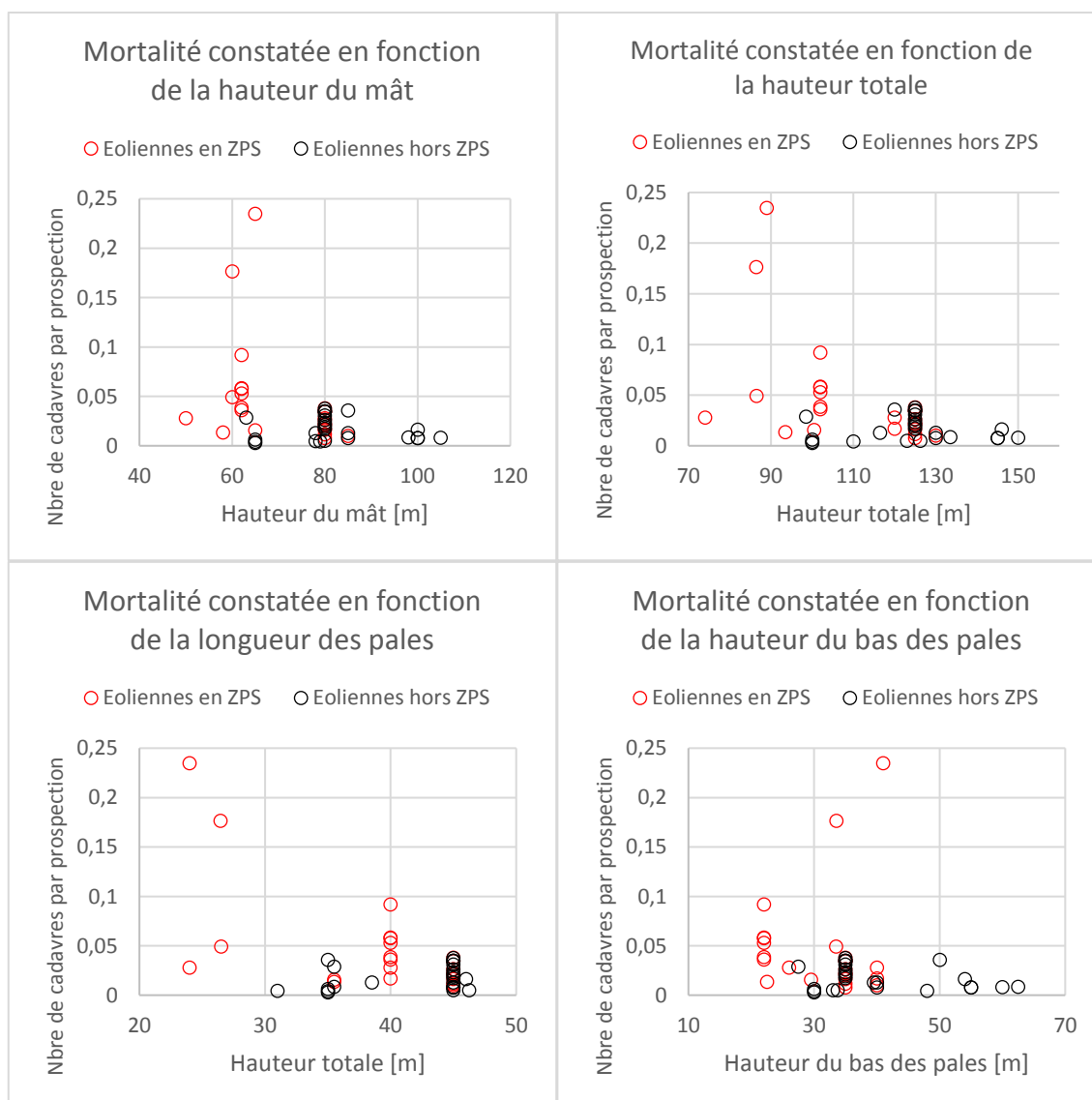
5.1 Gabarit des machines

Afin de lisser les aberrations liées à des découvertes fortuites ou au pic de migration automnale, l'analyse a porté sur les parcs prospectés à raison d'au moins une fois par semaine pendant au moins 26 semaines sur un rayon minimum de 50 m.

Le nombre de cadavres découverts par prospection semble, à première vue, inversement proportionnel à la hauteur des mâts et à la longueur des pales (Figure 43). Ce sont, en effet, les suivis réalisés sur les éoliennes les plus petites qui ont mis en évidence le plus de cadavres.

Distinguer les éoliennes situées dans ou hors des ZPS permet de mieux comprendre ce phénomène lié non pas au gabarit des machines mais à leur implantation dans des périmètres présentant des enjeux avifaunistiques importants (Figure 43). Comme nous l'avons vu en page 17, les éoliennes implantées en ZPS sont, en moyenne, bien plus petites que les autres, en particulier du fait de leur date de mise en service.

Figure 43 : Influence du gabarit des éoliennes sur la mortalité constatée



Ce résultat rejoint les conclusions d'une étude aux USA pour laquelle il existe des variations considérables dans les taux de mortalité des oiseaux et des chauves-souris entre les sites qui ne sont pas expliqués uniquement par la taille des turbines (Robert, Barclay, & Gruyer, 2007). Les autres facteurs qui influencent les taux de mortalité peuvent inclure des différences dans le nombre d'espèces présentes sur le site du parc (Drewitt, Rowena, & Langston, 2006) et la taille de leur population, l'utilisation des couloirs de migration (Nelson & Curry, 1995), la variation de la hauteur à laquelle les oiseaux et les chauves-souris volent sur le site, et la variation du nombre d'oiseaux de passage d'année en année.

Aujourd'hui, nous ne disposons pas de rapport de suivi de mortalité concernant des éoliennes de plus de 130 m de haut qui seraient implantées en ZPS. Il y a toutefois tout lieu de penser que des éoliennes de plus grand gabarit qui seraient implantées dans des ZPS impacteraient plus fortement la faune volante que celles de petit gabarit. Certes, la vitesse de rotation du rotor serait légèrement plus lente (environ 14 tours par minute pour des pales de 50 m contre 20 tours par minute pour des pales de 33 m), mais la vitesse linéaire en bout de pale est tout aussi importante (de l'ordre de 250 à 275 km/h) et l'emprise de l'infrastructure dans l'espace aérien augmente sensiblement tandis que la surface balayée par les pales est plus que doublée (3 421 m² contre 7 853 m²). Dans le cadre de la réhabilitation d'un site (repowering), cet aspect serait à prendre en compte car il n'est pas prouvé que remplacer des éoliennes existantes par un nombre plus réduit d'éoliennes de plus grande dimension soit de nature à réduire l'impact du parc.

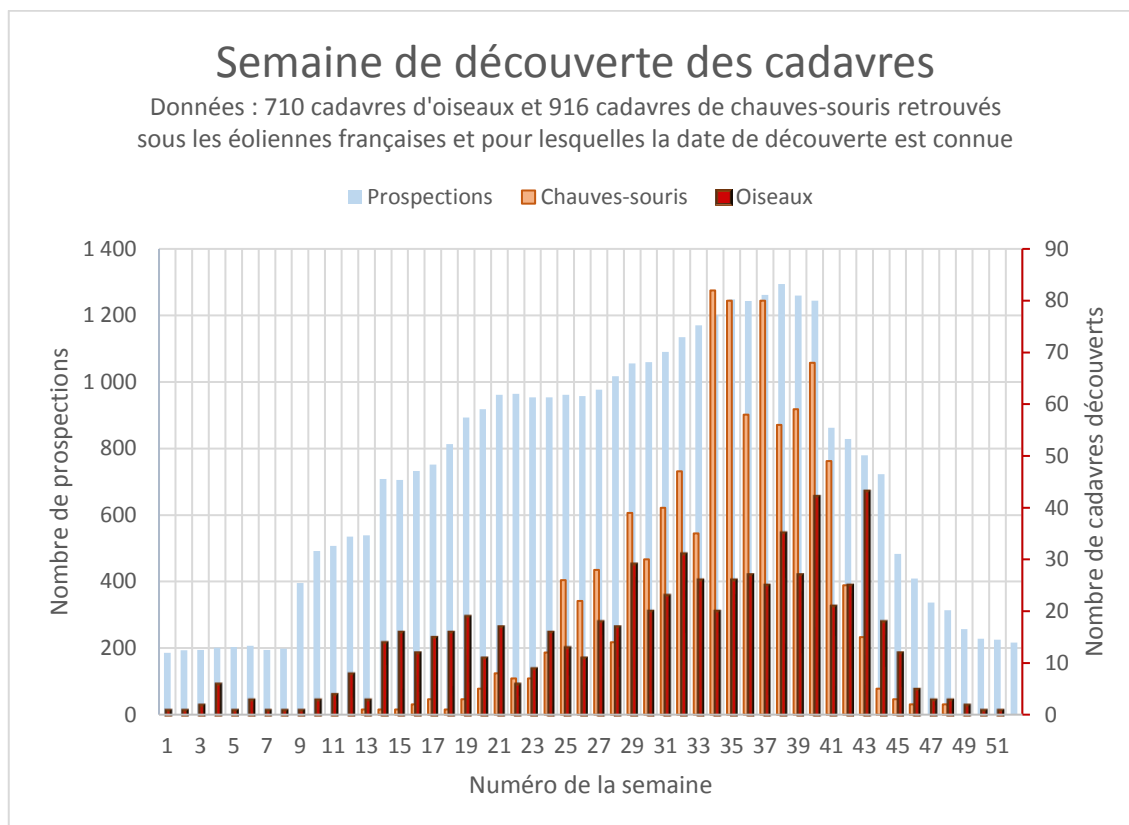
5.2 Distribution temporelle des découvertes

La distribution temporelle des découvertes de cadavres d'oiseaux montre, globalement, une corrélation avec l'effort de prospection. Cela traduit à la fois un nombre relativement stable de découvertes de cadavres d'oiseaux par prospection au cours de l'année et une évidence : si l'on ne prospecte pas, on ne trouve pas de cadavres. Cette distribution temporelle est très différente de celle des cadavres de chauves-souris dont les découvertes se concentrent naturellement sur leur période d'activité - de fin mars à fin novembre avec une forte activité de mi-août à mi-octobre (Figure 44).

La Figure 44 fait également apparaître un nombre de découvertes de cadavres par prospection plus faible en hiver (semaines 49 à 11) avec un léger pic en semaine 4 ; toutefois, la représentativité de ces données n'est pas assurée du fait du faible nombre de parcs suivis en période hivernale.

Un biais réel, mais difficilement quantifiable, tient au fait que les suivis sont souvent planifiés dans l'année en fonction des conclusions de l'étude d'impact. Si ces suivis permettent de confirmer ou d'infirmer un impact significatif prévu par l'étude d'impact, ils sont, dans la plupart des cas, inopérants pour mettre en lumière des cas de mortalité sur des périodes où l'étude d'impact concluait à un impact faible ou négligeable.

Figure 44 : Distribution temporelle des découvertes des cadavres



Ce même graphique met en évidence un pic de découverte de cadavres d'oiseaux en automne (semaine 43) décorrélé de l'effort de prospection. Celui-ci traduit une augmentation sensible du risque de collision pendant cette période de l'année où les flux migratoires diurnes et nocturnes sont importants. On remarque une surreprésentation des passereaux qui constituent à eux seuls 79 % des cadavres retrouvés en semaine 43 alors qu'ils ne représentent que 45 % des cadavres retrouvés sur l'année entière³². Les Roitelets à triple bandeaux (32,4 % des passereaux découverts en semaine 43), les Grives musiciennes (23,5 %) et les Rougegorges familiaux (14,7 %) représentent à eux seuls, 70,5 % des passereaux découverts en semaine 43 (et 50,8 % de l'ensemble des oiseaux tués durant cette même semaine).

Environ 60 % des cas de mortalité constatés concernent des espèces d'oiseaux en migration postnuptiale. Le calcul de cette proportion reste toutefois assez complexe puisque toutes les espèces d'oiseaux impactées pendant cette période ne sont pas migratrices. De plus, certains cadavres peuvent tout autant appartenir à une espèce sédentaire ou à ses conspécifiques de passage à cette période. En outre, les périodes de migration varient en fonction des espèces, certaines prenant leur départ dès la mi-juillet – comme le Martinet noir – alors que d'autres traverseront le pays beaucoup plus tard dans l'année – comme le Rougegorgé familial.

A noter qu'en fin d'été, les jeunes oiseaux inexpérimentés sont sans doute plus sujets aux collisions, mais les données dont nous disposons ne permettent pas d'en attester.

La surmortalité constatée pendant les périodes migratoires, notamment automnale, doit amener les porteurs de projets à mieux prendre en compte la problématique des oiseaux de

³² Plus précisément, les passereaux représentent 45 % des oiseaux dont la date de découverte a été correctement renseignée dans les rapports mais 49,7 % de l'ensemble des oiseaux retrouvés (cf. p33).

passage dans leurs études d'impact. Les migrateurs nocturnes en particulier, qui représentent deux tiers du flux migratoire, sont rarement pris en considération dans les études.

La mise en œuvre de radars ornithologiques et une planification à l'échelle régionale sur le modèle de ce qui a été réalisé dans le schéma régional éolien de Champagne-Ardenne pourrait permettre de mieux identifier ces secteurs sensibles qu'il conviendra de préserver de l'implantation d'éoliennes.

Les suivis de mortalité devraient s'étendre au moins jusqu'à la première semaine de novembre (semaine 44) pour évaluer correctement ce phénomène et, pour les parcs pour lesquels une mortalité significative est constatée en période de migration, l'arrêt des machines pourra être préconisé pour réduire le risque d'impact pendant la ou les périodes considérées.

5.3 Type d'habitat CORINE Land Cover

A l'exception de ceux de Champagne-Ardenne issus de la compilation du CPIE Pays de Soulaines, tous les cadavres d'oiseaux retrouvés ont pu être reliés à un parc éolien donné. Il est ainsi possible de déterminer le nombre de cadavres retrouvés et les espèces impactées en fonction du type d'habitat CORINE Land Cover (2012) dominant sur le site d'implantation des éoliennes. En raison du nombre relativement restreint de parc ayant fait l'objet d'un suivi de mortalité suffisamment robuste, les parcs ont été classés en deux groupes :

1. ceux implantés en plaine agricole (terre arables hors périmètre d'irrigation) ;
2. les autres (prairies, bois, cultures complexes, zones humides, etc.).

5.3.1 Influence sur le nombre de cadavres retrouvés

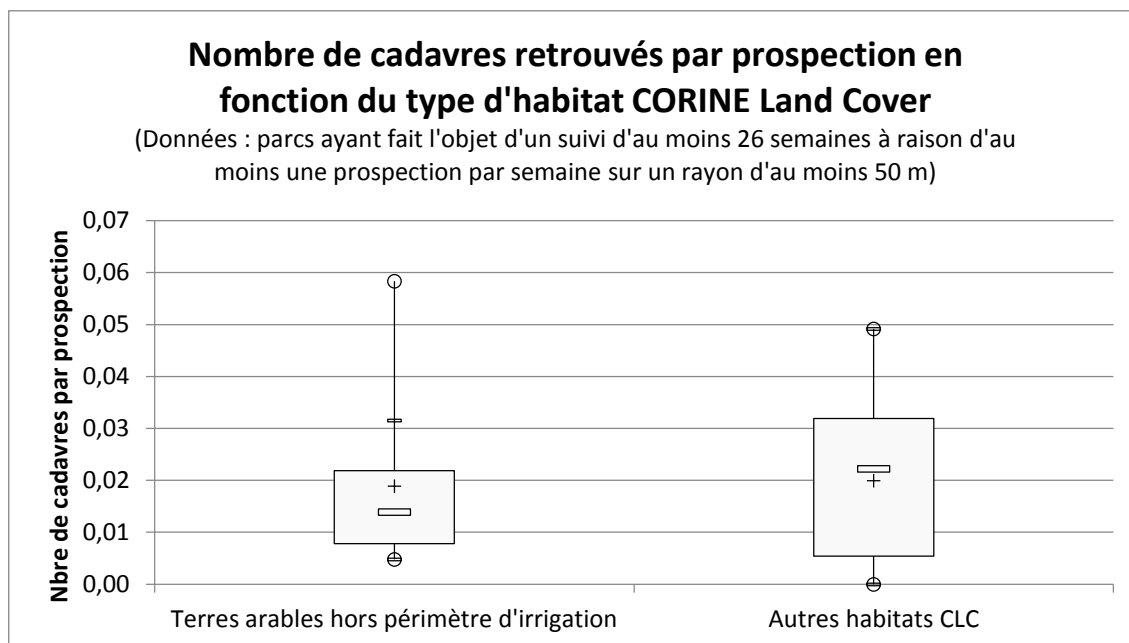
Si on ne considère que les 915 cadavres qui ont pu être précisément localisés :

- 564 individus (61,6 %) ont été retrouvés en plein champs ;
- 351 individus (38,4 %) ont été retrouvés dans d'autres habitats.

Les parcs implantés en plaine agricole ont donné lieu, en moyenne, au même nombre de découverte de cadavres par prospection que les parcs situés dans d'autres types d'habitats (Figure 45).

A noter : les éoliennes implantées en plaine agricole étant, en moyenne, plus hautes de 19 m par rapport à celles implantées dans d'autres types d'habitats, il est tout à fait possible que les oiseaux impactés en plaine agricole soient projetés, plus souvent qu'ailleurs, au-delà de la zone prospectée définie, généralement, par un rayon de 50 m. Seule la mise en œuvre de suivis couvrant une surface plus importante permettrait de s'assurer de la corrélation entre hauteur des éoliennes et dispersion des cadavres.

Figure 45 : Nombre de cadavres retrouvés et type d'habitat CORINE Land Cover



Note : se référer à l'Annexe III page 91 pour la lecture des diagrammes en boîte.

Les données dont nous disposons ne permettent donc pas de conclure que les plaines agricoles présenteraient un risque moins important que les autres habitats en termes de nombre de collisions aviaires avec les éoliennes.

5.3.2 [Influence sur les espèces impactées](#)

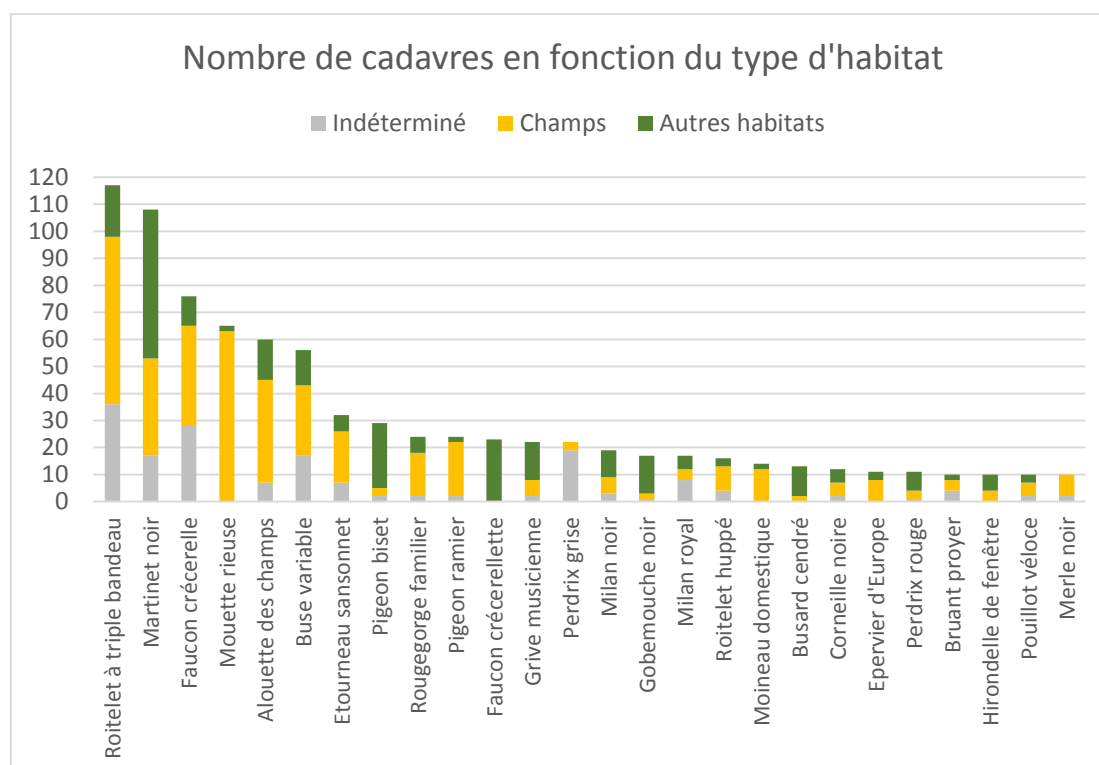
Si l'on ne considère que les 828 cadavres qui ont pu être précisément localisés et dont l'espèce a pu être identifiée avec certitude :

- 512 individus (61,8 %) appartenant à 74 espèces ont été retrouvés en plein champs
- 316 individus (38,2 %) appartenant à 65 espèces ont été retrouvés dans d'autres habitats

La diversité des espèces retrouvées dans les champs est plus importante que celle des espèces retrouvées dans les autres types d'habitats.

En outre, 51 espèces sont majoritairement retrouvées dans les champs tandis que 34 le sont majoritairement dans les autres types d'habitats (12 espèces présentent le même nombre de cadavres). La Figure 46 représente les espèces pour lesquelles au moins 10 cadavres ont été répertoriés.

Figure 46 : Localisation des cadavres en fonction du type d'habitat



Le Tableau 5 liste les espèces patrimoniales (inscrites sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine ou à l'annexe I de la Directive Oiseaux) qui ont été majoritairement retrouvées sous des parcs éoliens situés dans des plaines agricoles.

Tableau 5 : Espèces patrimoniales retrouvées principalement dans les champs

Nom commun	Localisation des cadavres			Liste rouge France ³³	Annexe I
	Champs	Autres habitats	Habitat Indéterminé		
Mouette rieuse	63	2		NT	
Alouette des champs	38	15	7	NT	
Faucon crécerelle	37	11	28	NT	
Roitelet huppé	9	3	4	NT	
Goéland argenté	5	1		NT	
Bruant jaune	4	2	1	VU	
Tourterelle des bois	4	0		VU	
Mouette mélanocéphale	4	0		LC	OUI
Aigrette garzette	3	0		LC	OUI
Pipit farlouse	2	0		VU	
Avocette élégante	2	0		LC	OUI
Bécassine des marais	1	0		CR	
Cigogne noire	1	0		EN	OUI
Moineau friquet	1	0		EN	
Courlis cendré	1	0		VU	
Bondrée apivore	1	0	1	LC	OUI

³³ CR : En danger critique, EN : En danger, VU : Vulnérable, NT : Quasi menacée, LC : Préoccupation mineure.

Cigogne blanche	1	0		LC	OUI
Œdicnème criard	1	0		LC	OUI
Total	178	34	41		

Le Tableau 6 se concentre, quant à lui, sur les espèces patrimoniales retrouvées majoritairement sous des parcs situés hors plaines agricoles.

Tableau 6 : Espèces patrimoniales retrouvées principalement en dehors des champs

Nom commun	Localisation des cadavres			Liste rouge France	Annexe I
	Champs	Autres habitats	Habitat Indéterminé		
Martinet noir	36	55	17	NT	
Faucon crécerellette	0	23		VU	OUI
Gobemouche noir	2	14	1	VU	
Busard cendré	2	11		NT	OUI
Milan noir	6	10	3	LC	OUI
Hirondelle de fenêtre	4	6		NT	
Milan royal	4	5	8	VU	OUI
Alouette lulu	1	4		LC	OUI
Vautour fauve	1	2		LC	OUI
Balbusard pêcheur	0	1		VU	OUI
Martin-pêcheur d'Europe	0	1		VU	OUI
Locustelle tachetée	0	1		NT	
Tarier pâtre	0	1		NT	
Traquet motteux	0	1		NT	
Aigle botté	0	1		NT	OUI
Râle d'eau	0	1		NT	
Busard Saint-Martin	0	1	1	LC	OUI
Grand-duc d'Europe	0	1		LC	OUI
Pipit rousseline	0	1		LC	OUI
Total	56	140	30		

Au final, même si 2 espèces de rapaces emblématiques (Faucon crécerellette et Busard cendré) ont été essentiellement retrouvées hors plaine agricole³⁴, il est bien difficile de départager ces deux groupes de parcs en fonction du risque de mortalité par collision qu'ils font courir aux espèces patrimoniales (inscrites en liste rouge ou à l'Annexe I).

Le facteur habitat, au sens « CORINE Land Cover » du terme, ne permet donc pas, à lui seul, de conclure à un moindre impact des parcs situés en plaine agricole par rapports aux autres parcs. Il conviendrait donc d'étudier plus finement les habitats présents sur les sites d'implantation d'éoliennes et, surtout, de mieux situer ces sites dans leur environnement rapproché mais également distant (proximité du littoral, de forêts, de zones humides, corridors écologiques, etc.). Enfin, comme nous allons le voir par la suite, la proximité de ZPS est un facteur d'impact déterminant, y compris pour les parcs situés en plaine agricole.

³⁴ Ils ont été retrouvés quasi-exclusivement sur un seul et même parc ayant fait l'objet d'un effort de prospection très important depuis plus de 6 ans, celui de Bouin en Vendée.

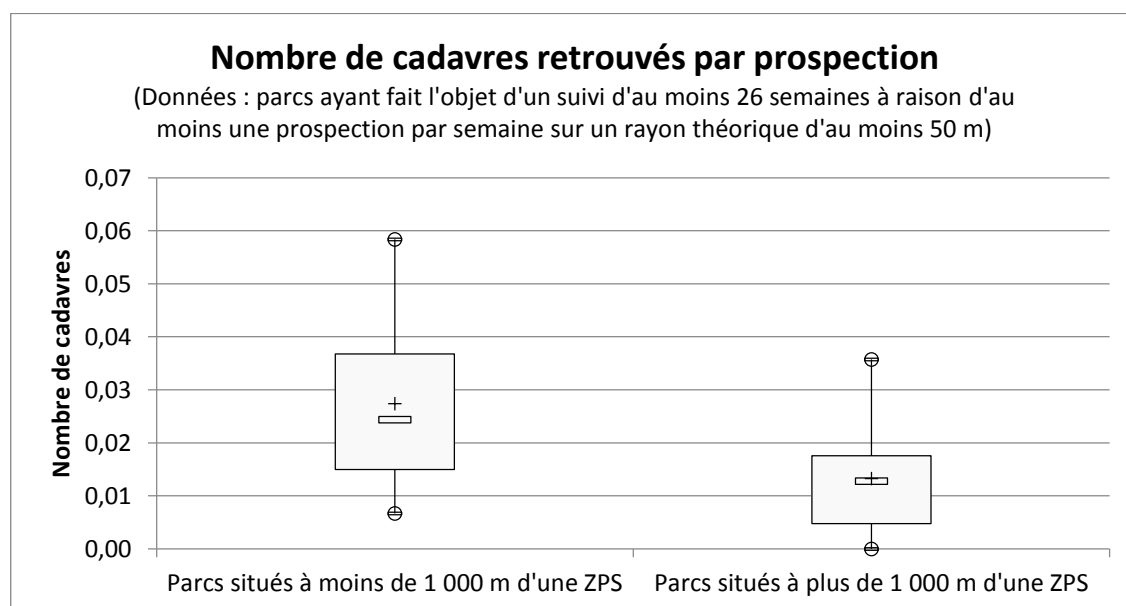
5.4 Proximité des ZPS

A l'exception de ceux de Champagne-Ardenne issus de la compilation du CPIE Pays de Soulaines, tous les cadavres d'oiseaux retrouvés ont pu être reliés à un parc éolien donné. Il est ainsi possible de déterminer le nombre de cadavres et les espèces impactées en fonction de la distance de ces parcs par rapport aux ZPS.

5.4.1 Influence sur le nombre de cadavres retrouvés

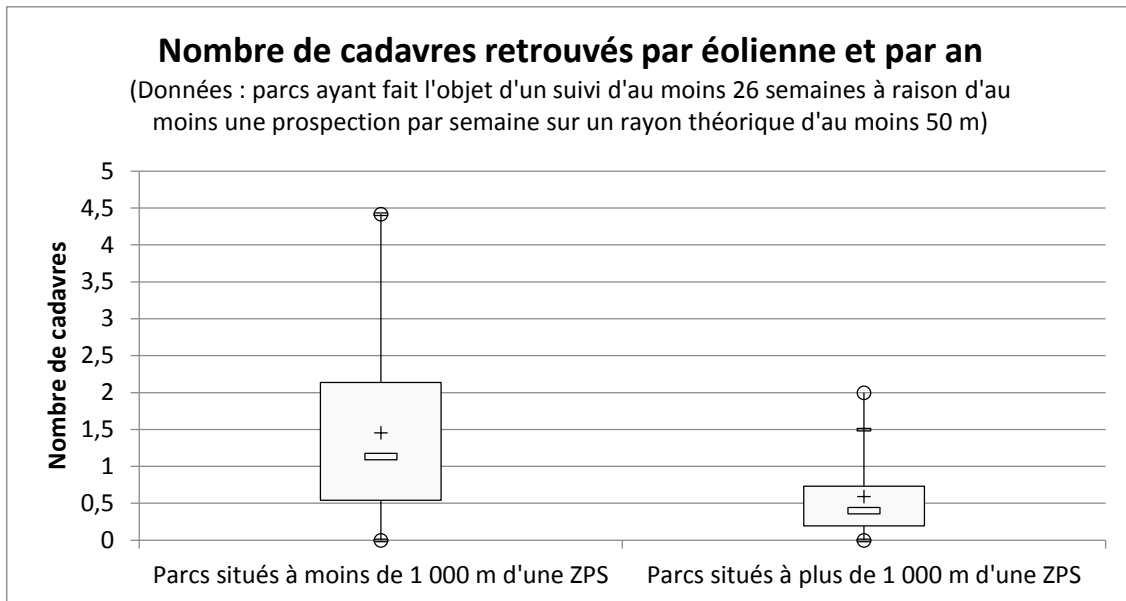
Si l'on observe les 828 cadavres dont la localisation et l'espèce ont été correctement renseignés dans les rapports, alors on constate que 60 % d'entre eux (495) ont été découverts sous les éoliennes de parcs situés à moins de 1 000 m d'une ZPS alors que ces parcs n'accueillent qu'environ 11 % du total des éoliennes de France. Cette forte proportion s'explique en partie par l'important effort de prospection consenti sur la plupart des parcs situés à proximité de ZPS. Toutefois, la Figure 47 – qui se concentre sur les parcs ayant fait l'objet d'un suivi d'au moins 26 semaines à raison d'au moins une prospection par semaine sur une surface théorique d'au moins 50 m sous chaque éolienne – montre, sans ambiguïté possible, l'importance de la proximité des ZPS comme facteur de mortalité directe par collision avec les éoliennes. En effet, **en moyenne, deux fois plus de cadavres sont retrouvés à chaque prospection sous les éoliennes situées à moins d'un kilomètre des ZPS** que sous les autres éoliennes, alors même que celles-ci sont, en moyenne, 20 m plus petites.

Figure 47 : Nombre de cadavres retrouvés en fonction de la distance aux ZPS



En raison du nombre généralement plus important de prospections par an dont profitent les parcs situés à proximité des ZPS, le nombre total de cadavres découverts par éolienne et par an sur ces parcs est, lui, 2,5 fois plus importants pour les parcs situés à moins de 1 000 m d'une ZPS que pour les autres parcs (Figure 48).

Figure 48 : Nombre de cadavres par éolienne et par an en fonction de la distance aux ZPS



Si le jeu de données dont nous disposons permet de comparer la mortalité constatée sur ces deux groupes de parcs, il ne permet pas de comparer leur mortalité réelle car seuls deux parcs situés à plus d'1 km d'une ZPS ont fait l'objet d'une estimation de la mortalité réelle par application des formules de Winkelmann, Erickson, Jones et Huso (voir p 56 et suivantes).

Il est toutefois probable que l'application de ces formules aurait plutôt tendance à accroître l'écart entre ces deux groupes de parcs et à mettre encore plus en évidence l'importance du facteur « ZPS » dans la mortalité aviaire imputable aux éoliennes. En effet, les parcs situés loin des ZPS sont plus souvent que les autres implantés sur des terres arables hors périmètre d'irrigation (en plaine agricole). Ces parcs étant présumés moins impactants par leurs exploitants, ils font généralement l'objet de suivis plus courts qui ont tendance à se concentrer sur les périodes les plus à risque (migration automnale). Le nombre moyen de cadavres découverts par prospection est donc naturellement majoré par rapports aux parcs situés à proximité de ZPS qui intègrent de façon plus systématique la période hivernale, moins propice aux collisions en raison de la plus faible activité de l'avifaune. En outre, les facteurs à appliquer pour corriger la surface effectivement prospectée et l'efficacité de l'observateur sont vraisemblablement tous les deux supérieurs pour les parcs situés à proximité de ZPS. En effet, les champs présentent généralement une couverture végétale rase pendant la période automnale sur laquelle se concentrent les suivis qui y sont réalisés, ce qui permet d'y prospecter efficacement sur une surface importante.

5.4.2 Influence sur les espèces impactées

Vingt espèces d'oiseaux inscrites à l'Annexe I de la Directive Oiseaux³⁵ ont, à ce jour, été retrouvées sous les éoliennes françaises (Figure 49). Il s'agit d'espèces menacées de disparition, d'espèces vulnérables à certaines modifications de leur habitat, d'espèces considérées comme rares (population faible ou répartition locale restreinte), et d'espèces nécessitant une attention particulière à cause de la spécificité de leur habitat, ainsi que d'espèces migratrices dont la venue est régulière.

³⁵ Directive n°79-409 (CE) relative à la conservation des Oiseaux sauvages.

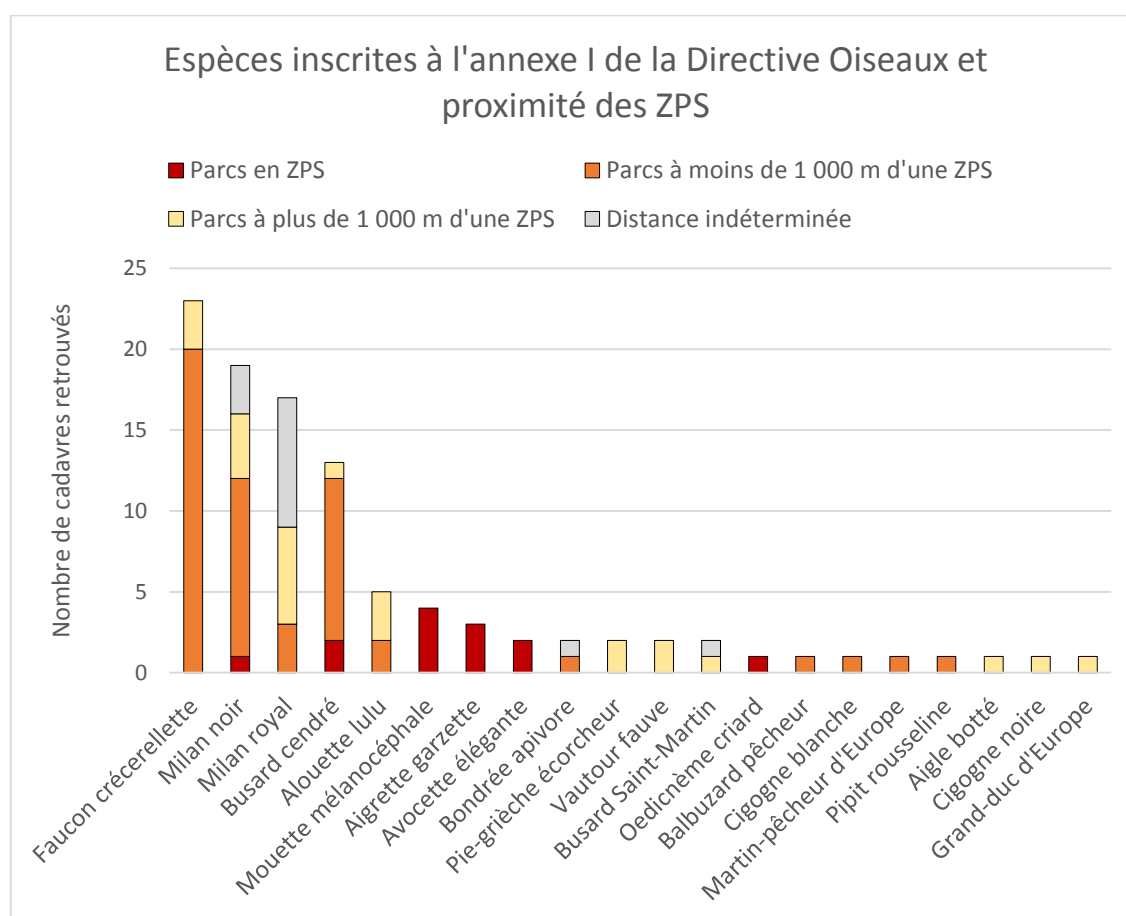
Parmi les 828 cadavres retrouvés sous les éoliennes françaises qui ont pu correctement être identifiées et localisées, 102 appartiennent à des espèces inscrites à l'Annexe I, soit 12,32 % du total.

Pour 72 % d'entre eux, ces cadavres appartenant à des espèces inscrites à l'Annexe I ont été retrouvés sous des parcs situés en ZPS (15 %) ou à moins de 1 000 m d'une ZPS (57 %) (Figure 49). Pourtant, ces parcs n'accueillent que 11 % des éoliennes françaises et n'ont concentré que 25 % des suivis de mortalité protocolés.

On notera également que, parmi les individus retrouvés au-delà des 1 000 m, certains cadavres appartiennent à des espèces pour lesquelles les collisions ont lieu essentiellement en période de migration – comme le Milan royal – ou à des espèces ayant un large rayon d'action – comme le Vautour fauve – et pour lesquels il est donc normal de retrouver les cadavres à bonne distance des ZPS.

Cela montre, d'une part, que les zones de protection spéciale existantes ont été correctement déterminées et, d'autre part, qu'elles doivent être préservées de l'implantation d'éoliennes y compris dans une zone tampon correspondant à l'espace vital des espèces ayant justifié ce classement (au moins 1 km et parfois bien plus) ; c'est particulièrement vrai pour les rapaces (Faucon crécerellette, Milan noir, Milan royal, Busard cendré, Bondrée apivore, Balbuzard pêcheur, etc.).

Figure 49 : Nombre de cadavres appartenant à des espèces inscrites à l'Annexe I de la DO en fonction de la distance aux ZPS



Au-delà des espèces inscrites à l'annexe I et qui ont justifié la création des ZPS, les espèces apparaissant dans la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine – en danger (EN), vulnérables (VU) ou quasi menacée (NT) – sont également surreprésentées à proximité des ZPS. Ainsi, 70 % des 68 cadavres appartenant à des espèces inscrites en liste rouge (et correctement localisés) ont été retrouvés sous des parcs situés à moins de 1 000 m d'une ZPS.

6 Conclusions

La présente étude est issue de la compilation et de l'analyse de 197 rapports de suivis environnementaux réalisés sur des parcs éoliens français entre 1997 et 2015 et vise à estimer la mortalité directe causée par les éoliennes sur l'avifaune (par collision, barotraumatisme ou projection au sol par les turbulences). Cette étude ne s'est donc pas intéressée à d'autres impacts potentiels de l'éolien : altération des habitats, dérangement en phase de construction et d'exploitation pouvant mener à l'échec de la nidification ou à une perte d'habitat, effet barrière, etc. Ces impacts mériteraient, eux-aussi, d'être étudiés et quantifiés, d'autant qu'ils pourraient s'avérer plus problématiques pour la conservation de certaines populations d'oiseaux que la perte de quelques individus par collision.

Dans l'avenir, l'agrégation de nouveaux rapports de suivis réalisés suivant des méthodologies plus homogènes pourrait ouvrir la voie à une analyse plus fine des facteurs d'impact ; cela pourrait en particulier passer par le croisement des données de mortalités avec des couches de répartition géographique des espèces, nicheuses, hivernantes ou de passage.

A terme, il serait également intéressant de comparer les impacts de l'éolien sur la biodiversité avec ceux des autres activités de production d'énergie.

6.1 Les parcs

La France comptait 5 105 éoliennes en exploitation au 31 décembre 2015, auxquelles nous sommes en mesure d'ajouter 1 070 éoliennes, non encore construites, mais disposant des autorisations nécessaires à leur mise en service. Si l'on considère que tout groupe d'éoliennes distantes de moins de 1 500 m constitue un parc, alors ces 6 175 éoliennes sont réparties en 802 parcs constitués, en moyenne, de 7,7 machines. En comparaison des autres pays ayant fait le choix de développer les énergies renouvelables, la France dispose donc finalement d'assez peu d'éoliennes réparties en parcs de taille relativement modeste.

Si les objectifs ambitieux de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie visent à doubler la puissance éolienne raccordée au réseau d'ici 2023 pour atteindre 10 000 à 12 000 machines, la tendance actuelle ne devrait permettre d'atteindre que 8 000 éoliennes terrestres en exploitation à cette échéance.

La taille des éoliennes a doublé en 15 ans pour atteindre, en moyenne, 139 m en bout de pale pour les éoliennes érigées en 2015 (maximum 160 m)³⁶. La hauteur du bas des pales est, quant à elle, restée stable depuis 2006. Des projets en cours de développement annoncent l'arrivée d'éoliennes de 180 m, voire 200 m en bout de pale d'ici quelques années.

Du fait de l'augmentation du gabarit des machines qui permet de produire de l'électricité à partir de vitesses de vent plus faibles et de capter les vents de plus en plus haut, les territoires à faible potentiel éolien – souvent des plaines agricoles éloignées des littoraux – peuvent aujourd'hui, et de plus en plus, être investis par les promoteurs éoliens (83 % des projets autorisés en avril 2016 sont envisagés en plaine agricole).

Les parcs éoliens ont tendance à être implantés de plus en plus loin des ZPS. Ce sont les parcs les plus anciens qui se trouvent plus souvent près ou dans les ZPS, en partie parce que celles-ci

³⁶ Si on exclut l'éolienne maritime Haliade 150 d'Alstom Power, actuellement en phase de test sur la commune de Frossay (44), qui culmine à 176 m d'altitude.

ont été désignées après le développement de ces projets. Aujourd'hui, environ 5 % des éoliennes se trouvent en ZPS pour une puissance installée de 435 MW.

6.2 Les suivis réalisés

Souvent difficiles à obtenir, insuffisants dans leur méthodologie (surface prospectée réduite, nombre de visites limité, absence de test d'efficacité de détection ou de persistance des cadavres, etc.) et peu précis dans leur retranscription (date des visites, largeur des transects, surface réellement prospectée, données brutes, etc.), les suivis de mortalité que nous avons pu réunir sont également peu nombreux au regard du nombre total de parcs exploités en France.

S'ils permettent, pour certains, d'estimer la mortalité d'un parc sur une période donnée, ils sont généralement trop hétérogènes dans leur réalisation pour envisager de comparer sérieusement l'impact de différents parcs éoliens entre eux ou pour espérer obtenir une estimation de l'impact du parc éolien français sur l'avifaune, ne serait-ce qu'au regard du nombre de cas de mortalité directe par collision.

Les parcs situés en plaines agricoles, pressentis comme moins impactants pour l'avifaune, ont généralement fait l'objet d'un effort de prospection plus faible que les autres. Notre étude montre toutefois que ces parcs peuvent potentiellement provoquer un nombre tout à fait similaire de collisions et impacter des espèces tout aussi patrimoniales que ceux situés dans d'autres types d'habitats.

Les parcs situés à proximité de ZPS, quant à eux, bénéficient des suivis les plus robustes et peuvent, pour certains, appliquer les formules permettant d'estimer la mortalité réelle causée par les éoliennes sur les oiseaux.

6.3 Le nombre de cas de collisions

Le nombre de cas de collisions constatés est globalement faible au regard de l'effort de prospection mis en œuvre (35 903 prospections réalisées dans le cadre de suivis de mortalité, généralement sur un rayon d'au moins 50 m autour de chaque éolienne, ont permis de découvrir 803 cadavres d'oiseaux, soit 1 cadavre toutes les 45 prospections). Le nombre de cadavres trouvés dépend essentiellement de l'effort de prospection³⁷, des enjeux avifaunistiques présents sur le site, du taux de détection³⁸ et de la durée moyenne de persistance des cadavres. Les suivis les plus robustes (au moins 48 semaines de prospections dans l'année à raison d'au moins 1 prospection par semaine sur un rayon théorique d'au moins 50 m sous chaque éolienne du parc) réalisés sur des parcs présentant des enjeux environnementaux a priori forts puisque situés à proximité de ZPS, ont permis de découvrir en moyenne 2,2 oiseaux par éolienne et par année de suivi.

La mortalité réelle due aux éoliennes n'est, quant à elle, estimée que pour très peu de parcs, souvent localisés dans des ZPS ou présentant de fortes sensibilités avifaunistiques. Pour les huit parcs concernés, qui représentent 1,38 % des éoliennes françaises, la mortalité réelle estimée varie de 0,3 à 18,3 oiseaux tués par éolienne et par an, la médiane s'établissant à 4,5 et la moyenne à 7,0. Certains parcs n'impactent donc qu'un faible nombre d'oiseaux, du moins en ce qui concerne la mortalité directe par collision, tandis que d'autres peuvent être plus impactants.

³⁷ Durée du suivi en semaines, fréquence des passages, surfaces prospectées.

³⁸ Le taux de détection reflète tout autant la difficulté à prospecter certains sites en fonction de la couverture végétale que l'efficacité de l'observateur.

Mais plus que le nombre d'oiseaux retrouvés, ce sont les espèces auxquelles ils appartiennent qui permettent d'évaluer l'impact de l'éolien sur des populations parfois menacées. Les espèces longévives, en particulier, peuvent être fortement impactées par la disparition de quelques individus.

6.4 Les espèces impactées

Si les données dont nous disposons ne permettent pas de quantifier précisément l'impact du parc éolien français sur les oiseaux, elles nous donnent par contre une bonne idée des espèces impactées. Ainsi, 81 % des cadavres retrouvés appartiennent à des espèces protégées ou présentant une préoccupation majeure quant à leur état de conservation.

Les roitelets à triple bandeau et les martinets noirs, impactés principalement lors de la migration postnuptiale, sont les espèces les plus retrouvées en valeur absolue sous les éoliennes françaises. Les migrateurs, principalement des passereaux, représentent environ 60 % des cadavres retrouvés.

Les rapaces diurnes (Faucon crécerelle et crécerellette, Milans noir et royal, Busard cendré, Buse variable, etc.) sont, par contre, indéniablement les premières victimes des éoliennes au regard de leurs effectifs de population, d'autant que dans la majorité des cas, ce sont des individus nicheurs en France qui sont impactés.

On notera également une très forte sensibilité des Laridés (mouettes et goélands) aux éoliennes. Ils constituent, en effet, une part non négligeable des cadavres alors même qu'ils ne sont concernés que par un nombre très réduit de parcs littoraux. Ceci devra être pris en compte dans le cadre du développement des parcs éoliens en mer.

Précisons que le fait que certaines espèces n'aient pas été retrouvées sous les éoliennes françaises ne permet pas de conclure qu'elles seraient moins sensibles que d'autres au risque de collision avec les éoliennes. C'est sans doute, avant tout, parce que leur espace vital et les voies de déplacement qu'elles empruntent sont préservés et parce que les suivis de mortalité dont nous disposons ne concernent qu'un nombre réduit de parcs qu'aucun cas de mortalité directe de ces espèces n'a été répertorié. Citons par exemple les Grues cendrées, le Pygargue à queue blanche ou le Gypaète barbu.

6.5 Préconisations d'implantation

L'implantation en zone d'agriculture intensive n'est pas une condition suffisante pour éviter les collisions des oiseaux avec les éoliennes. Bien d'autres facteurs interviennent comme la proximité du littoral, d'espaces boisés, de zones humides ou tout simplement le fait que certaines espèces utilisent ces sites d'une façon ou d'une autre (nidification, chasse, déplacement, etc.).

Comme nous l'avons vu, la mortalité directe due aux éoliennes est au moins deux fois plus importante à proximité des ZPS (p 69). De plus elle y affecte bien plus qu'ailleurs les espèces inscrites à l'Annexe I de la Directive Oiseaux mais également celles considérées comme menacées sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine. Il convient donc d'éviter d'implanter des éoliennes dans ces périmètres à forts enjeux avifaunistiques – c'est ce que font déjà 15 des anciennes régions³⁹ métropolitaines – ainsi que dans une zone tampon d'au moins

³⁹ Régions en vigueur avant le 1^{er} janvier 2016

1 km, correspondant au rayon d'action des espèces ayant justifié ces classements en ZPS, d'autant plus lorsque celles-ci sont réputées sensibles à l'éolien (rapaces, planeurs, migrateurs).

Les ZPS terrestres françaises couvrent 43 800 km², soit 8 % du territoire métropolitain. Elles peuvent donc être évitées sans remettre en cause des objectifs nationaux de développement de l'éolien, y compris dans certains territoires disposant tout à la fois d'un fort potentiel éolien et d'un maillage Natura 2000 dense (par exemple dans la région Occitanie, fortement ventée et couverte à 27 % par des ZPS).

Les rapaces diurnes présentent une forte sensibilité à l'éolien du fait de leur technique de vol, de leur façon de chasser, de leur attention qui tend à se concentrer sur le sol plutôt que sur ce qui se passe devant eux lorsqu'ils sont en vol. A ce jour, aucun suivi n'a permis de démontrer l'efficacité de dispositifs techniques visant à réduire leur mortalité par collision avec les éoliennes. La seule solution efficace, à ce jour, pour éviter la mortalité directe des rapaces par collision avec les éoliennes consiste à éviter de les implanter dans le rayon d'action des sites de reproduction et à préserver leurs espaces vitaux. C'est particulièrement vrai pour des espèces comme le Faucon crécerellette ou le Busard cendré. Pour les espèces impactées lors des mouvements migratoires (Milan royal, Buse variable, etc.) leurs principales voies de déplacement doivent également être identifiées et évitées.

Une meilleure prise en compte de la migration nocturne est également indispensable lors du développement des projets éoliens, en particulier pour éviter les pics de mortalité observés chaque année en migration postnuptiale. Pour ce faire, les radars ornithologiques pourraient être déployés de façon plus fréquente à l'échelle des projets mais également dans le cadre de la planification régionale. Une fois identifiés, il s'agira d'éviter les principaux couloirs de migration, de privilégier des implantations parallèles à ceux-ci et de limiter l'emprise des parcs vis-à-vis de ces voies de déplacement diffuses afin qu'elle ne dépasse pas 1 000 m.

6.6 Réhabilitation des parcs en fin de vie

Les contrats d'achat de l'électricité produite par les aérogénérateurs, fixés pour une durée de 15 ans, vont arriver progressivement à échéance. La question du remplacement ou non des éoliennes existantes va donc inévitablement se poser dans les prochaines années ; celle-ci est d'autant plus intéressante que c'est parmi les parcs les plus anciens, ceux mis en service avant 2004, que l'on trouve les éoliennes les plus proches des ZPS et des ZSC, et donc potentiellement les plus impactantes pour les oiseaux et les chauves-souris. Il s'agit là d'une opportunité unique de réduire l'impact du parc éolien français sur l'avifaune en faisant le choix de ne pas remplacer certaines éoliennes très problématiques.

Pour les parcs les moins impactants, va également se poser la question de remplacer les éoliennes existantes par des éoliennes plus récentes et donc potentiellement de plus grande dimension. Si l'analyse des suivis de mortalité réalisés sur les différents parcs français ne permet pas, à l'heure actuelle, de mettre en évidence de corrélation entre le gabarit des éoliennes et la mortalité constatée tant l'influence des facteurs environnementaux est importante, elle n'exclut pas pour autant que le remplacement d'éoliennes par des modèles plus grands sur un même site puisse augmenter le risque de collision. Les études visant à obtenir les autorisations pour la construction et l'exploitation de ces futurs parcs devront donc analyser en détail les hauteurs de vol des espèces utilisant le site et choisir, en conséquence, les hauteurs de mât et les longueurs de pales propres à limiter le risque de collision.

6.7 Protocole de suivi

Cette analyse des suivis de mortalité réalisés sur les parcs éoliens français montre la nécessité et l'urgence de disposer d'un protocole unique permettant tout à la fois d'évaluer la mortalité de chaque parc et de comparer les résultats des parcs entre eux.

Le ministre en charge des installations classées a d'ores et déjà reconnu un protocole de suivi environnemental applicable aux éoliennes terrestres soumises à autorisation et à déclaration au titre de la législation relative aux ICPE⁴⁰. Toutefois, celui-ci ne permet pas d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des éoliennes. Trop d'espèces sont exemptées de suivi de mortalité et, pour les rares espèces soumises à un suivi de mortalité, ce document ne précise ni les périodes, ni les surfaces, ni la fréquence de prospection.

Le suivi idéal consisterait, pour chaque parc, à prospecter deux à trois fois par semaine sous chacune des éoliennes sur un rayon égal à la hauteur totale de celle-ci suivant des transects espacés de 5 m. Pour un parc constitué de 8 éoliennes de 140 m de haut, cela reviendrait à parcourir environ 100 km à pied sous les éoliennes du parc en question une centaine de fois par an. Un observateur ne pouvant prospecter plus de 10 km chaque jour sans que son efficacité s'en voit affectée, un tel suivi mobiliserait des moyens humains démesurés.

Le suivi doit donc être proportionné aux enjeux :

- Les espèces qui utilisent le site devraient permettre de déterminer les périodes à prospecter (migration postnuptiale dans tous les cas, à laquelle s'ajoutent, suivant les enjeux, la période de reproduction, d'hivernage et de migration pré-nuptiale). Toutefois, du fait de la présence de chiroptères sur la totalité des sites éoliens, une prospection couvrant au minimum la période d'activité des chauves-souris est recommandée (semaine 12 à 48).
- La surface à prospecter devrait dépendre du gabarit des éoliennes pour mieux prendre en compte la dispersion des cadavres (par exemple un rayon égal à la longueur des pales ou à une demi-hauteur d'éolienne, avec un minimum de 50 m).
- Quant à la fréquence des visites, elle doit dépendre des résultats des tests de persistance des cadavres réalisés au début de chaque trimestre et ne doit pas être inférieure à une fois par semaine.

Concernant l'estimation de la mortalité réelle, la formule de Winkelmann doit être abandonnée au profit d'autres estimateurs plus fiables : Huso (2010), Erickson (2000), Jones (2009), Korner-Nievergelt (2015), Limpens et al. (2013), Bastos et al. (2013). Dans la mesure du possible, ces formules devraient être appliquées de façon différenciée aux nicheurs, aux hivernants et aux oiseaux de passage.

Le rendu de ces suivis doit, lui aussi, être amélioré. Les rapports doivent décrire avec plus de précision les parcs étudiés (nombre, position et gabarit des éoliennes, habitats concernés, distance aux haies, aux lisières, aux zones humides, etc.), les enjeux mis en évidence par l'étude d'impact et les mesures de réduction ou de compensation préconisées par celle-ci, les tests de taux de découverte et de persistance des cadavres réalisés, les modalités de suivi qui en découlent (dates de prospection, surfaces théoriquement et réellement prospectées à chaque visite, etc.), la mortalité constatée (dates, espèces, position des cadavres par rapport à l'éolienne

⁴⁰ Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Protocole_de_suivi_environnemental.pdf

la plus proche), la mortalité réelle estimée pour chacune des périodes suivies. Enfin, les données brutes ayant permis d'effectuer ces calculs doivent être annexées au rapport.

Pour finir, les rapports de suivis devraient être transmis systématiquement à l'inspection des installations classées et au Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) afin d'en faciliter la compilation et l'analyse.

Bibliographie

- Ademe. (2016). *Impacts environnementaux de l'éolien français*.
- André, Y. (2009). *Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune*. LPO.
- Atienza, J., Fierro, I., Infante, O., Valls, J., & Dominguez, J. (2014). *Guidelines for Assessing the Impact of Wind Farms on Birds and Bats. Version 4.0*. SEO.
- Barclay, M., Baerwald, E., & Gruver, J. (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Revue canadienne de zoologie*, 85(3), 381-387.
- Barrios, L., & Rodriguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, Vol 41, 72-81.
- Camiña, Á. (2013). *Guidelines for wind farm planning on birds and bats: Lessons learned from operating wind farms*. Washington, DC, USA: Biodiversity & Ecosystem Services in Impact Assessment Inter-American Development Bank.
- Canada Bird Studies. (2016). *Summary of the findings related to bird and bat fatalities, including corrected mortality estimates, based on post construction monitoring reports*. Retrieved from <http://www.bsc-eoc.org/birdmon/wind/resources.jsp?dir=reports>
- Coly, R. (2015). *Evaluation des possibilités d'exploitation des données Chiroptères collectées dans le cadre d'implantation d'éoliennes (études d'impact et suivis post-implantatoires)*. Rapport de Stage de Master au MNHN.
- Drewitt, A., Rowena, H., & Langston, H. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, vol 148, 29-42.
- Dürr, T. (2017). *Bird fatalities at windturbines in Europe*.
- Erickson, W. (2000). Examples of statistical methods to assess risk of impacts to birds from wind plants. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, 1998*, (pp. 172-182). San Diego, CA.
- Erickson, W., Johnson, G., & Young, D. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference 2002* (pp. 1029-1042). Asilomar, California: Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Hötker, H. (2017). *Birds of Prey and Wind Farms : Analysis of Problems and Possible Solutions*.
- Hull, C., & Muir, S. (2010). Search areas for monitoring bird and bat carcasses at wind farms using Monte-Carlo model. *Australian Journal of Environmental Management*, 77-87.
- Huso, M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, Vol. 22, 318-329.
- Issa, N., & Muller, Y. (2015). *Atlas des oiseaux de France métropolitaine - Nidification et présence hivernale*.

- Jones, G. (2009). *Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain. Scoping and method development report.*
- Jonhson, D., Loss, S., Smallwood, K., & Erickson, W. (2016). Avian fatalities at wind energy facilities in North America: A comparison of recent approaches. *Human-Wildlife Interactions. Volume 10*, 7-18.
- Loss, S., Will, T., & Marra, P. (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation, Vol. 168*, 201-209.
- Loss, S., Will, T., & Marra, P. (2015). Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, Vol. 46*, 99-120.
- Nelson, H., & Curry, R. (1995). Assessing avian interactions with windplant development and operation. *60th North American Wildlife and Natural Resources Conference* (pp. 266-277). Minneapolis, Minnesota: Wildlife Management Institute Publications Department.
- Robert, M., Barclay, E., & Gruyer, J. (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Can. J. Zool. 85*, 381–387.
- SFEPM. (2016). *Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères - Actualisation 2016 des recommandations de la SFEPM.*
- Smallwood, K. (2007). Estimating Wind Turbine-Caused Bird Mortality. *The Journal of Wildlife Management. Volume 71, Issue 8*, 2781-2791.
- Smallwood, K. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin, Vol 37*, 19-33. doi:10.1002/wsb.260
- Soufflot J - LPO. (2010). *Synthèse des impacts de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs en Champagne-Ardenne.*
- Thiollay, J.-M., & Bretagnolle, V. (2004). *Rapaces nicheurs de France, Distribution, effectifs et conservation.* Paris: Delachaux & Niestlé.
- UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS. (2016). *La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine.* Paris, France.
- Winkelman, J. (1989). Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese and swans. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, 1994*, (pp. 122-166). Lakewood, Colorado.
- Zimmerling, J., Pomeroy, A., d'Entremont, M., & Francis, C. (2013). Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments. *Avian Conservation and Ecology 8*(2).

Annexe I : Cas de mortalité d'oiseaux imputables aux éoliennes constatés en France

Compilation : Geoffroy MARX (LPO)

Date d'actualisation : 11/05/2016

Nom commun	Nombre de cas constatés
Roitelet à triple bandeau	117
Martinet noir	108
Faucon crécerelle	76
Mouette rieuse	65
Alouette des champs	60
Buse variable	56
Ind. Passéridés	48
Etourneau sansonnet	32
Pigeon biset	29
Pigeon ramier	24
Rougegorge familier	24
Faucon crécerellette	23
Grive musicienne	22
Perdrix grise	22
Milan noir	19
Gobemouche noir	17
Milan royal	17
Ind. Laridés	16
Roitelet huppé	16
Ind. Roitelets	14
Moineau domestique	14
Busard cendré	13
Corneille noire	12
Epervier d'Europe	11
Perdrix rouge	11
Bruant proyer	10
Hirondelle de fenêtre	10
Merle noir	10
Pouillot véloce	10
Canard colvert	9
Faisan de Colchide	9
Bruant jaune	7
Faucon hobereau	7
Pinson des arbres	7
Goéland argenté	6

Nom commun	Nombre de cas constatés
Alouette lulu	5
Effraie des clochers	5
Goéland leucopnée	5
Linotte mélodieuse	5
Tourterelle turque	5
Bergeronnette printanière	4
Goéland brun	4
Hibou moyen-duc	4
Mésange bleue	4
Mésange noire	4
Mouette mélanocéphale	4
Pipit des arbres	4
Tourterelle des bois	4
Aigrette garzette	3
Gobemouche gris	3
Grand Cormoran	3
Ind. Colombidés	3
Ind. Corvidés	3
Troglodyte mignon	3
Vautour fauve	3
Avocette élégante	2
Bergeronnette grise	2
Bondrée apivore	2
Busard Saint-Martin	2
Chardonneret élégant	2
Courlis corlieu	2
Fauvette à tête noire	2
Geai des chênes	2
Goéland marin	2
Guêpier d'Europe	2
Hirondelle rustique	2
Ind. Anatidés	2
Ind. Oiseaux	2
Martinet à ventre blanc	2
Pie-grièche écorcheur	2

Nom commun	Nombre de cas constatés
Pipit farlouse	2
Vanneau huppé	2
Verdier d'Europe	2
Aigle botté	1
Autour des palombes	1
Balbusard pêcheur	1
Bécassine des marais	1
Bécassine sourde	1
Bec-croisé des sapins	1
Caille des blés	1
Cigogne blanche	1
Cigogne noire	1
Cochevis huppé	1
Courlis cendré	1
Fauvette grissette	1
Gallinule poule-d'eau	1
Grand-duc d'Europe	1
Grive litorne	1
Héron cendré	1
Héron garde-boeufs	1
Hypolais polyglotte	1

Nom commun	Nombre de cas constatés
Ind. Bruants	1
Ind. Hirundo	1
Ind. Motacillidés	1
Ind. Rapaces	1
Ind. Sylvidés	1
Locustelle tachetée	1
Martin-pêcheur d'Europe	1
Moineau friquet	1
Nette rousse	1
Œdicnème criard	1
Pipit rousseline	1
Pouillot à grands sourcils	1
Râle d'eau	1
Rosignol philomèle	1
Tadorne de Belon	1
Tarier pâtre	1
Torcol fourmilier	1
Traquet motteux	1
Turdidés	1
Total	1 102

Note :

Ces 1 102 cas de mortalité directe imputables aux éoliennes implantées en France sont issus des documents suivants :

- Rapports de suivis de mortalités protocolés : 813
- Autres suivis environnementaux ayant amené à la découverte de cas de mortalité : 51
- Découvertes fortuites : 5
- Compilation de Tobias Dürr⁴¹ (hors cas précédents) : 47
- Compilation du CPIE Pays de Soulaines en Champagne-Ardenne (hors cas précédents) : 186

Ces cadavres appartiennent à au moins 97 espèces. Certains n'ont pas pu être identifiés avec précision.

⁴¹ <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>

Annexe II : Liste des suivis ayant été compilés dans le cadre de cette étude

- Delprat Bertrand, Touzé Hugo - Calidris (2015). *Synthèse des suivis environnementaux - Haliade 150 - AlstomWind*. (p42, fr)
- Villemin A - Sciences Environnement (2015). *Suivi de mortalité - Parc éolien du Bassigny*. (p30, fr)
- Ouest Am' (2015). *Parc éolien de Beaumont, commune de Isse (Loire-Atlantique). Suivi comportemental du Busard Saint-Martin Circus Cyaneus (Linné, 1766) en période de reproduction*. (p9, fr)
- Chapalain A, Chapalain C - LPO 58 (2015). *Suivis en phase post implantation du Parc de la Ferme Éolienne de Clamecy-Oisy - avifaune et chiroptères*. (p55, fr)
- Bouzin M - LPO Hérault (2015). *Projet de gestion des habitats d'oiseaux sur le Causse d'Aumelas et la Montagne de la Moure - Rapport d'activités 2014*. (p69, fr)
- Thauront M, d'Agostino R, Marchais G - Echosphère (2015). *Parcs éoliens Lomont - Pays de Montbéliard. Expertise chiroptères et suivi de mortalité*. (p65, fr)
- Beucher Y - Exen (2015). *Parc éolien de Lou Paou (48). Suivi environnemental post-implantation 2014 ciblé sur les chauves-souris. suivi comparé de la mortalité et de l'activité des chauves-souris..* (p80, fr)
- Csabai E, Didier S, Wagner C - LPO Alsace (2015). *Parc éolien de Dehlingen - Suivi Milan royal Résultats préliminaires - 2014*. (p45, fr)
- Csabai E, Didier S, Wagner C - LPO Alsace (2015). *Etude des flux migratoires post-nuptiaux sur le parc éolien de Dehlingen (Bas-Rhin) Suivi post-implantation 2014*. (p31, fr)
- LPO 89 (2015). *Etude avifaunistique postimplantatoire - Parc éolien de Migé et Escamps (89)*. (p13, fr)
- Airele (2015). *Parc éolien de Moréac (56) - Suivi avifaunistique - Quatrième année (2014-2015). Rapport final*. (p29, fr)
- Delprat Bertrand, Touzé Hugo - Calidris (2015). *Haliade 150 - AlstomWind - Suivi environnemental - Année 2014*. (p73, fr)
- Didier Sébastien - LPO Alsace (2015). *Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Dehlingen (Bas-Rhin) - 2014*. (p21, fr)
- Buchel E - LPO Alsace (2015). *Dénombrement des oiseaux nicheurs dans le périmètre du parc éolien de Dehlingen (Bas-Rhin) en 2014*. (p61, fr)
- Couteau C - CPIE Pays de Soulaines (2015). *Suivi de la mortalité avifaune et chiroptères des parcs éoliens de Val d'Eole et Chapelle d'Eole (10)*. (p24, fr)
- Lecompte Damien - Géogram (2015). *Suivi du parc éolien de Sévigny-Waleppe (08) - Année 2014*. (p97, fr)
- Lecompte Damien - Géogram (2015). *Suivi du parc éolien de Saint-Germainmont (08) - Année 2014*. (p104, fr)
- Callard Benjamin - Bretagne Vivante - SEPNEB (2015). *Suivi de mortalité de l'avifaune et chiroptères sur les parcs éoliens de Pleugriffet et Grand Place (56) - année 2014*. (p44, fr)
- Callard Benjamin - Bretagne Vivante - SEPNEB (2015). *Suivi de mortalité de l'avifaune et chiroptères sur le parc éolien des Landes du Tertre (22) - année 2014*. (p37, fr)
- Chatagnon C, Mur P - Mayenne Nature Environnement (2015). *Suivi post-implantation du parc de Oisseau et de la Haie-Traversaine (53)*. (p21, fr)
- Braure E - Biotopie (2014). *Suivi de mortalité du parc éolien de SEPE Saulzet 2 (2014)*. (p26, fr)
- Davignon D - Airele (2014). *Parc éolien de Quatre Vallées II (51). Suivi avifaunistique post-installation éoliennes. Rapport intermédiaire*. (p33, fr)
- Braure E - Biotopie (2014). *Suivi de mortalité du parc éolien de SEPE Saulzet 1 (2014)*. (p24, fr)

- Biotope (2014). *Parc éolien de Rampont II (55) - Suivis et contrôles post-implantation (habitats naturels, oiseaux et chiroptères)*. (p55, fr)
- Robert V - LPO Moselle (2014). *Suivi de l'avifaune du parc éolien de Baronville. Rapport intermédiaire 2ème année de suivi (2013/2014)*. (p8, fr)
- Robert V - LPO Moselle (2014). *Suivi de l'avifaune du parc éolien Thicourt. Rapport intermédiaire 2ème année de suivi (2013/2014)*. (p9, fr)
- Robert V - LPO Moselle (2014). *Suivi de l'avifaune du parc éolien ESTL. Rapport intermédiaire 2ème année de suivi (2013/2014)*. (p10, fr)
- Halali A - Ecolor (2014). *Parc éolien de Berviller (57). Suivi biologique aviaire 2014 - Migration pré-nuptiale, migration post-nuptiale, mortalité*. (p32, fr)
- Oury C et al. - Pôle de formation Briacé (2014). *Suivi biologique post-implantation du parc éolien de La Divatte - Bilan du suivi année 3 (septembre 2013 à septembre 2014)*. (p70, fr)
- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2014). *Parc éolien Les Aulnaies (49). Suivi ornithologique et chiroptérologique - 4ème année de suivi (2014)*. (p27, fr)
- Mayenne Nature Environnement (2014). *Compte-rendu de l'aménagement de la Chapelle du Bois du Tay Hambers - 2014*. (p8, fr)
- Chatagnon C, Duval O - Mayenne Nature Environnement (2014). *Suivi post-implantation du parc éolien de Lassay-les-Châteaux - Bilan 2014*. (p21, fr)
- Larivière Maxime - Tauw (2014). *Suivi faunistique post-implantation du parc éolien du chemin de la Ligue (2013 et 2014)*. (p103, fr)
- Carasco Y - Biotope (2014). *Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères. Parc éolien de la Gaillarde (76)*. (p31, fr)
- Durr T - Ecolor (2014). *Parc éolien de Chermissey (88). Suivi biologique 2013-2014. Migrations post-nuptiales et pré-nuptiales, suivi de mortalité*. (p22, fr)
- GO des Deux-Sèvres (2014). *Suivi des populations d'Outarde canepetière Tetrax tetrax - Zones d'emprises et périphérie des projets éoliens des communes de Pamproux et Soudan - Bilan 2014*. (p19, fr)
- Arlaud Cindie - LPO 26 (2014). *Suivi de l'impact des éoliennes de Beausemant sur l'avifaune - Résultats 2008-2012*. (p73, fr)
- Moufflette H - Ecoscop (2014). *Suivi de la mortalité avifaune et chiroptères - Parc éolien de Téterchen*. (p41, fr)
- Delprat B - Calidris (2014). *Projet éolien Beaumont (44). Suivi Busards St Martin*. (p21, fr)
- GONm (2014). *Suivi ornithologique sur le parc éolien de Sortosville-en-Beaumont*. (p16, fr)
- Berthier I, Seytre F, Lecoq V, Pujol A - Eco Stratégie, Eko Logik (2014). *Parc éolien des Barthes. Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères - Année 2013*. (p63, fr)
- Didier S, Keller A - LPO Alsace (2014). *Parc éolien de Dehlingen - Suivi d'un couple nicheur de milans royaux Résultats préliminaires - année 2013*. (p45, fr)
- Guillosson T - Swift Environnement (2014). *Suivi de la mortalité des oiseaux et des chiroptères sur l'ensemble éolien Corbières Méditerranée en 2013*. (p40, fr)
- Airele (2014). *Suivi de mortalité sur le parc éolien de Féréole. Etat d'avancement au 20/06/2014*. (p5, fr)
- Bouzin M - LPO Hérault (2014). *Parc éolien de Castanet-le-Haut (34) - Bilan du suivi de la mortalité - Année 2013*. (p37, fr)
- Bouzin M - LPO Hérault (2014). *Parc éolien de Riols (34) : bilan du suivi de la mortalité - Année 2013*. (p35, fr)
- Calidris (2014). *Parc éolien de Lusignan - Bilan du suivi de l'avifaune sur l'année 2013*. (p34, fr)
- Calidris (2014). *Pouillé-les-Coteaux - Suivi ornithologique post-installation (2013)*. (p31, fr)
- Chouinard S, Arhuro R - ADEV (2014). *Suivi de l'impact du fonctionnement du parc éolien de L'île d'Olonne sur l'avifaune et les chiroptères (2012-2013)*. (p60, fr)
- Eure-et-Loir Nature, Loiret Nature Environnement, Loir-et-Cher Nature (2014). *Eolien-biodiversité : deuxième programme de suivi à long terme en région Centre. Bilan des études de l'année 2013*. (p125, fr)

- Didier Sébastien - LPO Alsace (2014). *Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Dehlingen (Bas-Rhin) - 2013*. (p24, fr)
- Didier Sébastien - LPO Alsace (2014). *Etude des flux migratoires post-nuptiaux sur le parc éolien de Dehlingen (Bas-Rhin) - Suivi post-implantation 2013*. (p28, fr)
- CERA, Abies (2014). *Parc éolien d'Avignonet-Lauragais (31). Suivi d'activité et de mortalité des chiroptères. Année 2013*. (p60, fr)
- Altech (2014). *Suivi de mortalité - Parc éolien Le Fouy (2012 - 2013)*. (p23, fr)
- Couteau C - CPIE Pays de Soulaines (2014). *Suivi post-implantation des chiroptères. Parc éolien de Germinon-Velye (51). Rapport final - suivi 2013*. (p29, fr)
- CERA Environnement (2014). *Parc éolien de Nalliers (85). Suivi de la mortalité induite sur la faune (Année 5, trimestre 4)*. (p12, fr)
- Airele (2013). *Contrôle de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères en phase exploitation - Parc éolien de Corroy (51)*. (p33, fr)
- Lhomer E, Couteau C - CPIE Pays de Soulaines (2013). *Suivi post implantation du parc éolien des Haut-Pays (52). Etude de mortalité des chiroptères et du Milan royal en migration postnuptiale 2013*. (p38, fr)
- Deschamps D - Indre Nature (2013). *Suivi de la mortalité avifaunistique et chiroptérologique du parc éolien de Saint-Genou - Année 2013*. (p25, fr)
- Beucher Y, Albespy F, Mougnot J - EXEN (2013). *Parc éolien de Rézentières (15). Suivi écologique post-implantation ciblé sur les oiseaux et les chauves-souris Bilan de la campagne 2013*. (p33, fr)
- Fève F (2013). *Parc éolien du Haut des Ailes - Suivi chiroptérologique 2013. Rapport annuel et bilan du suivi mortalité sur six années consécutives*. (p19, fr)
- Pittoors J, Gaillard M, Legeay C - Neomys (2013). *Suivi post-implantation du parc éolien des Valottes (Bovée-sur-Barboure / Broussey-en-Bois) - Rapport final 2013*. (p66, fr)
- Robert V, Aubertin M - LPO Moselle (2013). *Suivi de l'avifaune du parc éolien ESTL. Rapport intermédiaire 1ère année de suivi (2012/2013)*. (p8, fr)
- Laumond M, Halali A - Ecolor (2013). *Parc éolien de Berviller (57). Suivi biologique aviaire 2013 - Migration pré-nuptiale, migration post-nuptial, mortalité*. (p24, fr)
- Beucher Y, Albespy F, Mougnot J - EXEN (2013). *Parc éolien de Salles-Curan (12). Suivi écologique post-implantation ciblé sur les oiseaux et les chauves-souris. Bilan de campagne : 3 années de suivi (2011-2012-2013)*. (p222, fr)
- Ouest Am' (2013). *Parcs éoliens de la Marne et de la Limouzinière - Suivis chiroptérologiques post-installation 2013*. (p24, fr)
- Oury C et al. - Pôle de formation Briacé (2013). *Suivi biologique post-implantation du parc éolien de La Divatte - Bilan du suivi année 2 (septembre 2012 à septembre 2013)*. (p63, fr)
- Ecocoop (2013). *Parc éolien de Mésanger Pouillèles-Coteaux - Suivi chiroptères (2010-2013)*. (p45, fr)
- Ouest Am' (2013). *Parc éolien de St Michel chef Chef - Suivi de mortalité des oiseaux et des chauves-souris (2013)*. (p22, fr)
- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2013). *Parc éolien Les Aulnaies (49). Suivi ornithologique et chiroptérologique - 3ème année de suivi (2013)*. (p36, fr)
- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2013). *Parc éolien du Clos du Pressoir - Valanjou (49). Suivi Chiroptérologique - 2ère année de suivi (2013)*. (p40, fr)
- Chatagnon C - Mayenne Nature Environnement (2013). *Suivi de l'avifaune nicheuse et de la mortalité - Bilan 2011-2013 - Parc éolien de Le Horps (53)*. (p52, fr)
- Mechin L - CERA Environnement (2013). *Suivi chiroptérologique de parc éolien de Corpe (2013)*. (p, fr)
- Ouest Am' (2013). *Parcs éoliens de St Philbert de Bouaine - Suivi de mortalité des oiseaux et des chauves-souris (2013)*. (p26, fr)
- Charente Nature (2013). *Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères sur le parc éolien de Salles-de-Villefagnan (16)*. (p79, fr)
- Charente Nature (2013). *Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères sur le parc éolien de Xambes-Vervant (16)*. (p78, fr)

- LPO 07 (2013). *Suivi éolien du CNPE Cruas-Meysses. Années 2008 à 2012.* (p7, fr)
- Mouffette H, Vadam E - Ecoscop (2013). *Suivi de la mortalité avifaune et chiroptères - Parcs éoliens de la communauté de communes des 2 rivières.* (p38, fr)
- Delprat B - Calidris (2013). *Projet éolien Beaumont (44). Suivi Busards St Martin.* (p20, fr)
- LPO Yonne (2013). *Etude avifaunistique postimplantatoire - Parc éolien des Clérimois.* (p15, fr)
- Fève F (2013). *Suivi ornithologique 2009-2013. Parc éolien de Fresne-en-Saulnois (57). Rapport annuel 2012/2013.* (p20, fr)
- LPO Champagne-Ardenne (2013). *Cinq années de suivi du Milan royal *Milvus milvus* sur le parc éolien d'Is-en-Bassigny. Reproduction, migrations postnuptiales et prénuptiales. Rapport final.* (p34, fr)
- Albespy F, Mougnot J, Beucher Y - EXEN (2013). *Parc éolien du Haut Cabardès (11). Suivi post-implantation de la mortalité sur les oiseaux et les chauves-souris. Bilan de campagne de 2012.* (p55, fr)
- D'Agostino R - Ecosphère (2013). *Suivi ornithologique du parc éolien de Plainchamp (55) - Bilan de 3 années de suivis - mars 2010 à novembre 2012.* (p99, fr)
- Axeco (2013). *Suivi chiroptérologique - Parc éolien de Mont-Gimont (52). Résultats 2012.* (p55, fr)
- Lustrat Philippe - Ad'Missions (2013). *Suivi chiroptérologique du parc éolien de Beau Soleil (56).* (p36, fr)
- Didier S, Jacquet A - LPO Alsace (2013). *Parc éolien de Dehlingen - Suivi d'un couple nicheur de milans royaux Résultats préliminaires - année 2012.* (p37, fr)
- Gilot L - Abies (2013). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Avignonet-Lauragais et de son extension. Cinquième année 2012.* (p80, fr)
- Lhomer E, Couteau C - CPIE Pays de Soulaïnes (2013). *Suivi post implantation du parc éolien des Haut-Pays (52). Etude de mortalité des chiroptères et du Milan royal en migration postnuptiale 2012.* (p36, fr)
- Gitenet P, Saulnier N - LPO Hérault (2013). *Suivi du Faucon crécerellette (*Falco naumanni*) sur le Causse d'Aumelas et la Montagne de la Moure - Rapport de suivi 2012.* (p27, fr)
- Beucher Y, Kelm V - Exen (2013). *Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12). Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2011).* (p116, fr)
- ROUX Denis, TRAN Marion, GAY Nicolas - ONCFS, CN' AIR (2013). *Suivi des oiseaux et des chiroptères sur un parc éolien - Comportement et mortalité à Bollène (84) entre 2009 et 2012.* (p7, fr)
- Bossaert J, Nedellec S, Plessis J-M - Airele (2013). *Parc éolien de Guern (56) - Suivi de l'avifaune et des chiroptères année N+3.* (p42, fr)
- Bonacorsi M, Jacquet K, Schmale K - Cabinet Barbanson Environnement (2013). *Suivi ornithologique de l'avifaune nicheuse. Projet éolien de Luc-sur-Orbieu (11) - Cinquième et dernière année post-implantation - 2012.* (p57, fr)
- Millioz P - CPIE Pays de Soulaïnes (2013). *Suivi post-implantation du parc éolien d'Amanty (55) - volet avifaune 2012.* (p35, fr)
- CERA, Abies (2013). *Parc éolien d'Avignonet-Lauragais (31). Suivi d'activité et de mortalité des chiroptères. Année 2012.* (p49, fr)
- Laumont M - Ecolor (2012). *Parc éolien de Foulcrey - Suivi biologique 2012 - Migration aviaire prénuptiale, migration aviaire post-nuptiale, mortalité chiroptère.* (p41, fr)
- Fradin E - CPIE Pays de Soulaïnes (2012). *Suivi post-implantation du parc éolien d'Amanty (55) - volet Chiroptères 2012.* (p41, fr)
- Ecolor (2012). *Parc éolien de Berviller (57). Suivi biologique aviaire 2012 - Migration prénuptiale, migration post-nuptiale, mortalité.* (p34, fr)
- Oury C et al. - Pôle de formation Briacé (2012). *Suivi biologique post-implantation du parc éolien de La Divatte - Bilan du suivi année 1 (septembre 2011 à septembre 2012).* (p58, fr)
- Ecocoop (2012). *Parc éolien de Mésanger Pouillèles-Coteaux - Suivi chiroptères (2012).* (p9, fr)
- Calidris (2012). *Suivi ornithologique post-installation du parc éolien de la Renardière (44). Analyse du suivi 2010-2012.* (p54, fr)

- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2012). *Parc éolien Les Aulnaies (49). Suivi ornithologique et chiroptérologique - 2ème année de suivi (2012)*. (p37, fr)
- Chatagnon C - Mayenne Nature Environnement (2012). *Suivi 2012 de l'avifaune nicheuse et de la mortalité - Parc éolien de Le Horps (53)*. (p25, fr)
- Lelong M - Indre Nature (2012). *Deuxième programme de suivis avifaunistiques et chiroptérologiques des parcs éoliens de la région Centre. Module 5 : Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Saint-Genou*. (p22, fr)
- Poirion J - Calidris (2012). *Suivi pré-implantation du Busard St Martin sur le site de Beaumont (44). Rapport final*. (p9, fr)
- CERA Environnement (2012). *Parc éolien de Vairé (85). Suivi de la mortalité induite sur la faune (Année 5, trimestre 4)*. (p14, fr)
- Mechin L - CERA Environnement (2012). *Suivi chiroptérologique de parc éolien de Corpe (2011-2012)*. (p35, fr)
- Fève F (2012). *Suivi ornithologique 2009-2013. Parc éolien de Fresne-en-Saulnois (57). Rapport annuel 2011/2012*. (p18, fr)
- Jacquet Aurélie (2012). *Préservation du Milan royal en Alsace bossue. Evaluation de la sensibilité d'un couple de Milans royaux à un projet de parc éolien et propositions de mesures*. (p56, fr)
- D'Agostino R, Thauront M - Ecosphère (2012). *Suivi ornithologique du parc éolien de la Voie Sacrée (55) - Bilan de 4 années de suivis. Mai 2008 à novembre 2011*. (p104, fr)
- LPO (2012). *Parc éolien des Hauteurs de l'Albe. Restitution des observations de l'avifaune Année 2011 et printemps 2012*. (p146, fr)
- Lagrange H, Rico P - Biotope (2012). *Chirotech - Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13) - 2011*. (p52, fr)
- Calidris (2012). *Suivi ornithologique post-installation du parc éolien de Pouillé les coteaux (44) - Rapport 2012*. (p33, fr)
- Sane F, Christophe F - Alepe (2012). *Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : bilan des 3 années de suivi (2008-2009-2010)*. (p111, fr)
- Charente Nature (2012). *Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères sur le parc éolien de Lesterps-Saulgond (16)*. (p59, fr)
- CESAME (2012). *Site éolien de Cham Longe (07). Suivi ornithologique en période de nidification (2011)*. (p55, fr)
- Bossaert J, Nedellec S, Plessis J-M - Airele (2012). *Parc éolien de Guern (56) - Suivi de l'avifaune et des chiroptères année N+2*. (p36, fr)
- Gilot L - Abies (2012). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Avignonet-Lauragais et de son extension. Quatrième année 2011*. (p51, fr)
- Laumond M, Lesueur L, Halali A - Ecolor (2011). *Parc éolien de Berviller (57). Suivi biologique aviaire 2011 - Migration pré-nuptiale, migration post-nuptiale, mortalité*. (p32, fr)
- CERA Environnement (2011). *Résultats des suivis ornithologiques sur le parc éolien des Champs Blancs sur la période 2009-2011*. (p40, fr)
- Ecocoop (2011). *Parc éolien de Mésanger Pouillé-les-Coteaux - Suivi chiroptères (2010-2011)*. (p27, fr)
- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2011). *Parc éolien Les Aulnaies (49). Suivi ornithologique et chiroptérologique - 1ère année de suivi (2011)*. (p28, fr)
- Heugas T - CPIE Loire et Mauges (2011). *Parc éolien du Clos du Pressoir - Valanjou (49). Suivi Chiroptérologique - 1ère année de suivi (2011)*. (p37, fr)
- Chatagnon C - Mayenne Nature Environnement (2011). *Suivi 2011 de l'avifaune nicheuse et de la mortalité - Parc éolien de Le Horps (53)*. (p22, fr)
- Guégnard A - LPO 85 (2011). *Évaluation de l'impact du parc éolien du Bernard sur l'avifaune et les chauves-souris. Résultats des suivis 2007- 2011*. (p83, fr)
- Delprat B - Calidris (2011). *Suivi pré-implantation du Busard St Martin sur le site de Beaumont (44). Rapport final*. (p13, fr)
- Fève F (2011). *Suivi ornithologique 2009-2013. Parc éolien de Fresne-en-Saulnois (57). Rapport annuel 2010/2011*. (p24, fr)

- James JB, Gallien F - GONm (2011). *Suivi ornithologique du parc éolien de Soulangy - Années 2008-2009-2010*. (p34, fr)
- Calidris (2011). *Suivi ornithologique post-installation du parc éolien de Pouillé les coteaux (44) - Rapport 2011*. (p33, fr)
- CESAME (2011). *Site éolien de Saint-Agrève (07). Suivi ornithologique en période de nidification (2010)*. (p44, fr)
- Gilot L - Abies (2011). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Avignonet-Lauragais et de son extension. Troisième année 2010*. (p46, fr)
- Williamson T - LPO 86 (2011). *Evaluation de l'impact du parc éolien du Rochereau (Vienne) sur l'avifaune de plaine. Rapport final 2007-2010*. (p138, fr)
- Eure-et-Loir Nature, Loiret Nature Environnement, Loir-et-Cher Nature (2010). *Eoliennes, oiseaux et chauves-souris - Synthèse générale du suivi scientifique réalisé en Beauce 2006 - 2010*. (p32, fr)
- Duval T, Lesueur L - Ecolor (2010). *Parc éolien du Haut des Ailes - Suivi éolien - Migration pré-nuptiale et post-nuptiale 2010 - suivi de la mortalité des chiroptères*. (p34, fr)
- Millioz P - CPIE Pays de Soulaines (2010). *Suivi des parcs éoliens de Vauthon-Haut (55), Vaudeville-le-Haut (55) et Seraumont (88)*. (p52, fr)
- LPO (2010). *Eoliennes de Grening - Année 2010 - Synthèse des observations*. (p106, fr)
- Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2010). *Suivi botanique des sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2010*. (p30, fr)
- Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2010). *Suivi des migrations avifaunistiques post-nuptiales – Éoliennes du Lomont - 2010*. (p27, fr)
- Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2010). *Suivi des migrations avifaunistiques pré-nuptiales – Éoliennes du Lomont - 2010*. (p18, fr)
- Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2010). *Suivi de l'avifaune locale et nicheuse sur les sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2010*. (p18, fr)
- Gallien F, Le Guillou G, Morel F - GONm (2010). *Comportement des oiseaux en migration active diurne et mortalité des oiseaux sur un parc éolien. Exemple du Cap Fagnet à Fécamp (Seine-Maritime) en 2006 et 2007*. (p7, fr)
- Soufflot Julien - LPO (2010). *Synthèse des impacts de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs en Champagne-Ardenne*. (p117, fr)
- Maison de la chauve-souris (2010). *Suivis chiroptérologiques postimplantation du parc éolien de Guern 56*. (p22, fr)
- Cornut J, Vincent S - LPO 26 (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes*. (p43, fr)
- Magnier E - ONF Agence de Metz (2010). *Parc éolien d'Amélecourt. Suivi de mortalité de l'avifaune 2009/2010*. (p12, fr)
- Ritz F - ONF Agence de Metz (2010). *Parc éolien d'Amélecourt. Suivi écologique des végétations années 2009 - 2010*. (p9, fr)
- Fève F (2010). *Suivi ornithologique 2009-2013. Parc éolien de Fresne-en-Saulnois (57). Rapport annuel 2009/2010*. (p24, fr)
- Dulac P - LPO 85 (2010). *Évaluation de l'impact du parc éolien de l'Espinassière (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan des 3 années de suivi (2007-2009)*. (p53, fr)
- Delprat B - Calidris (2010). *Suivi pré-implantation du Busard St Martin sur le site de Beaumont (44). Rapport d'étape*. (p6, fr)
- Deschartres A, Soufflot J - LPO Champagne-Ardenne (2010). *Suivi avifaunistique post-installation du parc éolien des "Quatre Chemins" - Saison 2008/2009. Bilan 2006 - 2009*. (p146, fr)
- Beucher Yannick, Kelm Volker, Geyein Matthieu, Pick Doreen (2010). *Parc éolien de Castelnaud-Pégayrols (12): suivi évaluation post implantation de l'impact sur les chauves-souris. Bilan de campagne de la deuxième année d'exploitation (2009)*. (p4, fr)
- CESAME (2010). *Site éolien de Saint-Agrève (07). Suivi ornithologique en période de nidification (2009)*. (p41, fr)
- Soufflot Julien - LPO Champagne-Ardenne (2010). *Suivi ornithologique du parc éolien des Côtes de*

Champagne : résultats de la quatrième année de suivi - 2008/2009. (p145, fr)

Gilot L - Abies (2010). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Avignonet-Lauragais et de son extension. Deuxième année : 2009.* (p46, fr)

AVES Environnement, Groupe Chiroptères de Provence (2010). *Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13). Etude de la mortalité des chiroptères 2009.* (p33, fr)

Gilot F, Bourgeois M - LPO Aude (2010). *Suivi de l'impact du parc éolien de Fitou I sur l'avifaune nicheuse des pelouses sèches méditerranéennes - Bilan des suivis menés de 2001 à 2009.* (p21, fr)

Durr T, Lesueur L - Ecolor (2009). *Parc éolien du Haut des Ailes - Suivi éolien - Migration pré-nuptiale et post-nuptiale 2009.* (p45, fr)

LPO (2009). *Eoliennes de Grening - 2008-2009 - Synthèse des observations.* (p155, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2009). *Suivi botanique des sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2009.* (p28, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2009). *Suivi des migrations avifaunistiques pré-nuptiales – Éoliennes du Lomont - 2009.* (p12, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2009). *Suivi de l'avifaune locale et nicheuse sur les sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2009.* (p13, fr)

Soufflot Julien - LPO Champagne-Ardenne (2009). *Suivi ornithologique du parc éolien des Côtes de Champagne : résultats de la troisième année de suivi - 2007/2008.* (p184, fr)

Bellenoue Kristina, Bellenoue Stéphane (2009). *Premiers constats de mortalité de chauves-souris et d'oiseaux sur le parc éolien de Lévigny (Aube).* (p5, fr)

Magnier E - ONF Agence de Metz (2009). *Parc éolien d'Amélecourt. Suivi de mortalité de l'avifaune 2008/2009.* (p16, fr)

Raitière W - LPO Loire-Atlantique (2009). *Projet de parc éolien sur la commune d'Issé (Loire-Atlantique). Le Busard Saint-Martin : Suivi pré implantation. Rapport final.* (p30, fr)

Newton I, Little B (2009). *Assessment of Wind-Farm and Other Bird Casualties from Carcasses found on a Northumbrian Beach over an 11-Year Period.* (p10, en)

Debout Gérard, Provost Sébastien - Groupe Ornithologique Normand (2009). *Suivi des migrations postnuptiales dans les marais de l'isthme du Cotentin et en baie des Veys.* (p49, fr)

CESAME (2009). *Site éolien de Saint-Agrève (07). Suivi ornithologique en période de nidification (2008).* (p38, fr)

Nedellec Sébastien - Airele (2008). *Parc éolien de Guern (56) - Suivi avifaunistique - Première année (2009-2010).* (p20, fr)

Durr T, Duval T, Lesueur L, Patris Y - Ecolor (2008). *Parc éolien du Haut des Ailes - Migration pré-nuptiale, migration post-nuptiale, avifaune nicheuse 2008.* (p39, fr)

Trille M, Liozon R, Talhoët S - LPO Aveyron (2008). *Suivi ornithologique et chiroptérologique du parc éolien de Castelnau-Pégayrols. Bilan de la première année de suivi.* (p47, fr)

Gilot L - Abies (2008). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Avignonet-Lauragais et de son extension. Première année : 2008.* (p50, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2008). *Suivi botanique des sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2008.* (p18, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2008). *Suivi des migrations avifaunistiques post-nuptiales – Éoliennes du Lomont - 2008.* (p23, fr)

Olliet F - Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard (2008). *Suivi de l'avifaune locale et nicheuse sur les sites d'implantations des éoliennes du Lomont - 2008.* (p12, fr)

Guegnard A, Dulec Perrine, Sudraud J - LPO 85 (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Benet (Vendée) sur les oiseaux et les chauves-souris - Résultats du suivi 2008.* (p53, fr)

Guegnard A - LPO 85 (2008). *Impact des éoliennes sur l'avifaune et les chiroptères : résultats de deux années de suivi des parcs de Benet et du Bernard (2007 - 2008).* (p14, fr)

Bellenoue S, Fradin E - CPIE Pays de Soulaines (2008). *Suivis et analyse des interactions entre les éoliennes, les chiroptères et les oiseaux. Parcs éoliens de Reffroy, Méliny-le-Petit et Marson-sur-Barboure (55) - 2005 - 2008.* (p64, fr)

CPIE Pays de Soulaines (2008). *Suivis et analyses des interactions entre les éoliennes, les chiroptères et les oiseaux. Parcs éoliens de Rumont, Vavincourt et Erize-Saint-Dizier (55).* (p42, fr)

Dulac P - LPO 85 (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi.* (p106, fr)

LPO 44 (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien d'Erbray-Soudan sur l'avifaune et les chauves-souris migratrices - Rapport final juin 2008.* (p22, fr)

LPO 44 (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Freigné sur l'avifaune et les chauves-souris migratrices - Rapport final juin 2008.* (p26, fr)

Soufflot Julien - LPO Champagne-Ardenne (2008). *Suivi ornithologique du parc éolien des Côtes de Champagne : résultats de la deuxième année de suivi - 2006/2007.* (p82, fr)

Soufflot Julien - LPO Champagne-Ardenne (2008). *Suivi ornithologique du parc éolien des Côtes de Champagne : résultats de la première année de suivi - 2005/2006.* (p95, fr)

Reudet D, Gout B, Tressens O - ONCFS (2007). *Rapport sur le suivi de passereaux effectué sur le site des éoliennes des communes d'Opoul-Perillos et de Salses-le-Château. Année 2002 à 2006.* (p7, fr)

Guillon M, Thirion JM, Cotereau V - Nature Environnement 17 (2007). *Suivi ornithologique du Parc éolien de Saint-Crépin (17). Mars 2006 à Février 2007.* (p48, fr)

Morlon F, Roche HP - LPO Aude, Abies (2006). *Caractérisation du passage migratoire pré-nuptial de l'avifaune sur le plateau de Garrigue Haute (Aube) - Rapport final.* (p60, fr)

Albouy S - Abies (2005). *Parc éolien de Grande Garrigue - Névia 11. Suivi ornithologique 2005 - Evaluation des impacts sur l'avifaune nicheuse.* (p41, fr)

Albouy S - Abies (2004). *Parc éolien de Grande Garrigue - Névia 11. Suivi ornithologique 2004. Impacts sur l'avifaune nicheuse.* (p19, fr)

Faggio G, Jolin C - Groupe Ornithologique de Corse (2003). *Suivi ornithologique du parc éolien d'Ersa-Rogliano (Haute-Corse). Rapport final.* (p101, fr)

Albouy S - Abies (2003). *Parc éolien de Grande Garrigue - Névia 11. Suivi ornithologique 2003.* (p16, fr)

Albouy S, Dubois Y, Picq H - Abies, LPO aude (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude).* (p76, fr)

Albouy S, Dubois Y, Picq H - ABIES - LPO (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude).* (p76, fr)

Picq H, Dubois Y, Gilot F - LPO Aude (2001). *Suivi du comportement d'un couple d'Aigle royal (Aquila chrysaetos) nichant à proximité du parc éolien de Treilles-le-Souleilla (11).* (p38, fr)

Albouy S, Clément D, Jonard A, Massé P, Magès J-M, Neau P - LPO Aude, Géokos, Abies (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle - Rapport final.* (p71, fr)

Annexe III : Lecture des diagrammes en boîte

Dans les représentations graphiques de données statistiques, le diagramme en boîte (aussi appelée boîte à moustaches, boîte de Tukey ou box plot en anglais) est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative.

Le diagramme en boîte résume seulement quelques caractéristiques de position du caractère étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum). Ce diagramme est utilisé principalement pour comparer un même caractère dans deux populations de tailles différentes.

Dans les diagrammes en boîte, la longueur des « moustaches » vaut 1,5 fois l'écart interquartile.

Lorsque les données peuvent être modélisées en utilisant une loi normale, la théorie montre que les extrémités des « moustaches » sont voisines du premier et 99^{ème} centile. Ces diagrammes servent alors à détecter la présence de données exceptionnelles.

