

Rapaces et éolien:

Quel est l'impact de l'éolien sur les rapaces ?

Présenté par Léa Perego
BGVN 3

Travail de recherche présenté à
Mr GIRARD Thomas - Chargé de cours "Méthodologie
de Travaux de Recherche"



EGPN - Toulouse
le 13 Mars 2024

Table des matières

Introduction.....	1
I. L'importance des rapaces dans nos écosystèmes.....	2
II. L'impact sur les rapaces.....	4
III. Le cas du Milan royal (Milvus milvus).....	6
IV. Les solutions.....	7
Conclusion.....	10
Résumé en Anglais.....	10
Annexes.....	11
Bibliographie.....	15

Introduction

L'énergie éolienne est devenue une source cruciale dans la transition vers des formes d'énergie plus durables et respectueuses de l'environnement. Cependant, malgré ses avantages considérables en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de promotion de l'indépendance énergétique, l'installation et l'exploitation des parcs éoliens ne sont pas sans conséquences sur les écosystèmes aviaires, en particulier sur les populations de rapaces. Ces prédateurs aériens jouent un rôle vital dans le maintien de l'équilibre écologique, et toute perturbation de leurs habitats ou de leurs comportements pourrait avoir des répercussions significatives sur les écosystèmes dans lesquels ils évoluent.

L'objectif de cette étude est d'étudier de manière approfondie l'impact de l'énergie éolienne sur les oiseaux de proie, en se basant principalement sur leur comportement, leurs populations et les effets possibles sur leurs habitats. Grâce à une analyse approfondie des études existantes, des données empiriques et des études de cas, nous cherchons à comprendre les différents mécanismes par lesquels l'énergie éolienne peut affecter les rapaces et les mesures possibles pour réduire ces effets négatifs.

Ce travail de recherche vise à répondre à la problématique suivante: **“Quel est l'impact de l'éolien sur les rapaces ?”**. Pour répondre à cette question, nous expliquerons d'abord en quoi les rapaces sont importants dans nos écosystèmes. Ensuite, nous discuterons des principaux impacts connus de l'énergie éolienne sur les rapaces, tels que la collision avec les pales des éoliennes, la perturbation des habitats et le comportement des espèces migratrices. Puis nous nous pencherons sur le cas du Milan royal (*Milvus milvus*) car il est l'un des rapaces les plus impactés par l'activité éolienne. Enfin, nous identifierons les solutions qui peuvent être apportées pour une meilleure cohabitation entre l'avifaune et les éoliennes.

I. L'importance des rapaces dans nos écosystèmes

Les rapaces jouent un rôle essentiel dans nos écosystèmes en offrant une multitude de services écologiques essentiels qui contribuent à maintenir l'équilibre naturel.

En effet, les rapaces sont des prédateurs et donc en haut de la chaîne alimentaire et jouent donc un rôle essentiel dans cet équilibre. Notamment dans les agrosystèmes, où ils participent à la régulation des espèces de micromammifères. En effet, les rapaces nocturnes, comme la chouette effraie (*Tyto alba*) ou le hibou moyen-duc (*Asio otus*), ont un régime qui se compose essentiellement de micromammifères [1] et en particulier de rongeurs comme les rats et les souris qui causent des dégâts significatifs sur les cultures dans les champs mais aussi dans les lieux de stockage de grains. Les rongeurs sont aussi porteurs de maladies comme la leptospirose [2] et les rapaces ont un rôle essentiel dans la lutte biologique contre ces pathogènes qui peuvent être létaux pour l'Homme. Les rapaces exercent aussi un rôle de régulateur sur les autres espèces en exerçant une pression sur ces populations. Certaines espèces sont spécialisées dans des taxons en particulier comme le circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*) spécialisé dans les reptiles ou la bondrée apivore (*Pernis apivorus*) qui régularisent les populations d'hyménoptères, par exemple.

Les rapaces nécrophages ont aussi leur importance dans les agrosystèmes de montagne généralement. En effet, les cadavres de bétail peuvent être placés sur une placette qui peut être gérée par l'éleveur ou alors directement sur le pâturage et les vautours peuvent venir consommer sur place la dépouille. Cela est une solution économique autant sur le plan financier que sur le travail car l'équarrissage industriel est une méthode longue et chère surtout en montagne où les exploitations sont difficiles d'accès. [3] « En 2010, c'est près de 430 000 € qui ont été économisés par le service public d'équarrissage grâce aux vautours » [4]. Ces rapaces nécrophages sont aussi importants pour l'équilibre environnemental car ils sont capables de prophylaxie (ensemble des mesures préventives pour éviter une maladie). En effet, les organes digestifs de certaines espèces de vautour, comme le vautour moine (*Aegypius monachus*), ont un « tube digestif qui détruit tous les micro-organismes qui auraient pu survivre dans les cadavres hormis quelques spores très résistantes » [5]. La présence de rapaces nécrophages permet aussi une bonne gestion des déchets organiques et une meilleure santé des sols en évitant certaines molécules toxiques présentes dans les cadavres de pénétrer dans le sol.

De plus, une grande partie des rapaces régurgitent des boules compactes de matière indigestes appelées pelote de réjection. Ces dernières considérées comme des déchets par beaucoup sont précieuses pour un écosystème. L'analyse des pelotes de réjection permet d'étudier le régime alimentaire des prédateurs, car elles contiennent souvent des indices sur les espèces consommées. Cela fournit des informations précieuses sur la structure des communautés d'organismes et les interactions trophiques au sein des écosystèmes. Les pelotes de réjection contiennent des nutriments,

tels que le calcium, le phosphore et d'autres minéraux, provenant des os et des exosquelettes des proies. En se décomposant, ces pelotes libèrent ces nutriments dans le sol, favorisant ainsi sa fertilité. Les pelotes de réjection sont souvent récupérées par d'autres animaux, comme les insectes, les rongeurs et les vers de terre, qui les utilisent comme source de nourriture ou de matériaux de construction pour leurs nids. Elles contribuent ainsi à nourrir et à structurer les communautés d'organismes vivant dans les sols. En identifiant les os et les parties d'insectes contenus dans les pelotes de réjection, on peut évaluer l'écologie de nombreuses espèces, notamment pour les micromammifères où des méthodes ont été trouvées pour justement étudier l'écologie de ces espèces à travers les pelotes de réjection. **[6]**

Pour finir, la présence ou l'absence de ces oiseaux montrent aussi l'état d'un écosystème. En effet, les rapaces sont des oiseaux très sensibles aux changements et leur présence indique qu'un écosystème est en bon état.

Pour conclure cette partie, tous les exemples cités précédemment montrent bien que les rapaces ont un rôle très important dans nos écosystèmes et que leur déclin affecterait toutes les échelles du monde vivant.

II. L'impact de l'éolien sur les rapaces

Les parcs éoliens constituent un terrain de chasse rêvé pour les rapaces de part la végétation rase présente sur place qui laisse apparaître leurs proies préférées mais cela n'est pas sans risque pour eux.

En effet, le développement des parcs éoliens entraîne une perte et une modification d'habitat pour certaines espèces. Une étude a été menée sur l'impact de parcs éoliens sur un couple reproducteur d'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) par la LPO d'Aude de 1998 à 2007 suite à l'implantation d'un parc éolien en 2001 (**Annexe 1**).

« L'étude des grands rapaces doit être menée sur de grandes surfaces du fait de l'étendue de leurs territoires de chasse et nécessite de travailler sur le long terme. Des changements paraissant infimes peuvent avoir des conséquences importantes sur l'utilisation de l'espace des différents couples d'aigles et sur leur productivité. Dans le cas présent, on a observé un échec de la reproduction à compter de la construction du premier parc éolien ainsi qu'une modification de la fréquentation du territoire, suivie du changement de site de reproduction les années suivantes. Alors que de multiples éléments peuvent être impliqués et entraîner ces changements, la date limite des changements a été fixée avec la construction du premier parc éolien et est suffisante pour expliquer les changements de comportement observés. » [7]

En 2018, Itty et Thiriez ont mené une autre étude sur cette même espèce dans le sud du Massif Central en utilisant un suivi télémétrique, ce qui a révélé qu'après l'installation d'un parc éolien, les aigles avaient perdu un territoire de près de 450 ha et on observait un risque de collision de 30 à 45% avec n'importe quelles conditions aérologiques. [8]

Malheureusement, les éoliennes causent aussi des impacts mortels sur ces oiseaux comme les collisions. « Il est certain que les espèces de rapaces diurnes (faucon crécerelle, faucon crécerellette, milan noir, milan royal, busard cendré, buse variable, etc.) sont celles dont le taux de mortalité dû aux éoliennes est le plus élevé en fonction de leur effectif. » [9] (**Annexe 2**). D'après une étude de suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 par la LPO France, le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) est l'un des premiers oiseaux victimes des éoliennes après le roitelet à triple bandeau (*Regulus ignicapilla*) et le martinet noir (*Apus apus*). Comme c'est un rapace sédentaire, il est impacté de manière homogène tout le long de l'année (**Annexe 3**).

« De manière proportionnelle à la population (68 000 à 84 000 couples nicheurs en France d'après Issa & Muller 2015), le Faucon crécerelle subit un impact bien plus important 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. » [10]

Selon l'étude de Barrios et Rodriguez en 2004, cette espèce serait l'une des plus sensibles à cause de sa méthode de chasse qui est le vol stationnaire. **[11]**

Il n'y a pas que les oiseaux nicheurs qui sont impactés puisque les migrateurs le sont aussi, même si cela reste à plus petite échelle car ils ne sont exposés que 2 fois dans l'année à ce problème mais cela impacte leur comportement durant la migration. En effet, la LPO Aude a effectué en 2001 un suivi ornithologique des parcs éoliens du Plateau de Garrigue dans l'Aude et a remarqué que des espèces de rapaces utilisent des réactions de pré-franchissement. « Les réactions appelées « pré-franchissement » se distinguent en deux catégories : le retournement et la séparation du groupe. Il s'agit de réactions préalables au franchissement des éoliennes. » **[12]** Ce suivi a montré que le milan noir (*Milvus migrans*) est l'oiseau qui réagissait le plus en pré-franchissement avec 36.5% des individus (**Annexe 4**). Ceci est dû notamment à son mode de migration puisque ce rapace migre en groupe.

Pour conclure cette partie, malgré leur intérêt énergétique pour l'Homme, les parcs éoliens représentent une menace pour les rapaces et leurs impacts sur ces oiseaux n'est pas négligeable.

III. Le cas du Milan royal (*Milvus milvus*)

Le milan royal est un rapace endémique d' Europe occidentale. Les populations sont en déclin dans la plupart de son aire de reproduction et l'espèce est considérée comme quasi menacée. Avec l'empoisonnement accidentel et l'électrocution, la collision avec des éoliennes est devenue une source majeure de mortalité supplémentaire pour cet oiseau. Les milans royaux affectionnent les milieux ouverts pour la recherche de proies et notamment en été lorsque les cultures deviennent hautes et denses, ils peuvent être attirés vers les parcs éoliens pour des conditions de chasse plus favorables car les sols sont nus et la végétation est rase. Comme la plupart des vols de recherche sont effectués à hauteur du rotor, ils sont particulièrement vulnérables aux collisions avec les éoliennes.

Les milans royaux utilisent principalement pour chasser la zone autour de leur nid avec une intensité de vol élevée. Donc plus un parc éolien est proche de leur nid, plus les milans sont susceptibles d'entrer dans la zone. Lorsque les nids sont dans le parc éolien, les milans sont en danger car ils volent souvent à hauteur du rotor. Ils passent environ 46.6 % de leur temps de vol à ce niveau là entre 26 et 150 m du rotor. Les milans ne montrent aucune hésitation à voler entre les éoliennes en mouvement. Les collisions avec les éoliennes entraînant la mort peuvent aussi avoir un impact négatif sur la viabilité de l'espèce à long terme. **[13]** « Nos estimations basées sur les registres de collisions réelles confirment pour la première fois que les décès cumulés dus aux éoliennes dans les parcs éoliens existants peuvent atteindre un tel niveau. » . **[14]** Environ 10 % des milans retrouvés morts, dont on a pu déterminer l'âge, sont âgés de plus de 1 an. Ce chiffre montre que la mortalité due aux collisions peut influencer la croissance de la population car la survie des adultes et des subadultes est la plus sensible aux changements. En effet, selon des études **[15]** et **[16]** une mortalité adulte des rapaces à longue durée de vie comme le milan entre 3 et 5% entraîne déjà l'inhibition de la croissance d'une population voir son extinction.

Pour réduire les collisions avec les éoliennes, il est nécessaire que les nids des milans soient à une distance assez élevée des parcs éoliens. « Selon les données actuelles, le risque de collision peut être considérablement réduit en observant une distance de 1000m étant donné qu'une grande partie des activités de vol des milans royaux. » **[13]** De plus, en rendant la zone moins attrayante cela réduirait aussi le risque de collision. Il faudrait donc aucun champ de foin à faucher durant la saison de reproduction du milan dans les parcs éoliens, aucune autre source de nourriture dans le parc comme un tas de fumier par exemple et les jachères autour des bases d'éoliennes doivent être aussi petites que possible et peu attrayantes.

Pour conclure cette partie, le milan royal fait partie des espèces de rapaces menacées les plus impactées par le risque de collision avec les éoliennes notamment en Allemagne car c'est l'un des pays avec la plus grande population nicheuse de milans, il est donc primordial de la protéger.

IV. Les solutions

Malgré tous les impacts que provoquent les éoliennes sur les populations rapaces, de nombreuses solutions ont été trouvées pour justement diminuer voire supprimer ces impacts.

Dans un premier temps, l'aménagement du parc éolien devrait être revu. Pour commencer, le choix du site pour l'implantation du parc devrait être soumis à différentes études préalables pour estimer si autour il y a des zones sensibles avec des enjeux pour l'avifaune, si oui le projet ne devrait pas être développé. De plus, les zones avec des falaises, des crêtes avec leur côté exposés au vent sont des lieux de vie idéal pour les rapaces et sont donc à éviter pour l'implantation d'éoliennes.

« Une fois les zones sensibles écartées, il est préférable de disposer les éoliennes en ligne, et d'éviter certaines dispositions comme celles en X, qui forcent les oiseaux à passer à proximité des éoliennes lorsqu'ils se rapprochent des deux rangées. » [9]

Si l'on prévoit de faire plusieurs rangées d'éoliennes, il faut les faire de façon à ce qu'un couloir de vol assez important soit aménagé pour que les oiseaux n'aient pas à contourner le parc ou à risquer de se prendre une pale d'éolienne.

« Malgré l'absence d'un lien direct entre le parc et le réseau électrique, le principe d'enfouissement, qui est obligatoire en France, est prédominant pour cette installation et permet d'éviter les risques de mortalité supplémentaires induits par des lignes aériennes (principe limitant aussi l'impact paysager). » [9]

L'**Annexe 5** montre une représentation schématique idéale de ce à quoi pourrait ressembler un parc éolien si toutes les solutions proposées précédemment étaient prises en compte.

Les éoliennes devraient être aussi construites selon différents critères pour éviter le risque de collision avec les rapaces. Notamment, la hauteur du bas des pâles (garde au sol) permettrait de réduire le risque de collision, une étude de Grajetzky en 2010 a démontré ceci chez le busard cendré (*Circus pygargus*). En effet, en passant la hauteur de garde au sol de 30 m à 20m cela réduirait de 50% le risque de mortalité chez cette espèce. [17] Des études avec un suivi GPS des rapaces nous donnent aussi des informations sur le comportement de vol de ces oiseaux et on peut donc adapter les pâles et les mâts des éoliennes en fonction de ces données. « Actuellement, le suivi GPS à haute fréquence fournit la plus grande précision verticale et peut donc faire progresser considérablement l'étude du risque de collision avec les éoliennes chez les oiseaux. » [18]

La couleur des pâles pourrait aussi réduire le risque de collision avec les oiseaux. De nombreuses études ont d'ailleurs montré ceci. La première de Mclsaac en 1996 montrent que les rapaces ne voient pas les pâles dans certaines conditions et proposent un motif pour améliorer la visibilité des pâles.

« Nos résultats indiquent que les rapaces peuvent ne pas voir clairement les pales d'éoliennes dans certaines conditions environnementales, et que l'application de motifs à fort contraste sur les pales d'éoliennes peut augmenter la visibilité des pales. Sur la base des résultats de toutes nos études, nous

formulons plusieurs recommandations concernant les motifs des pales d'éoliennes. Nous recommandons provisoirement un motif à ondes carrées, noir et blanc. » **[19]**

Ce résultat est pourtant à prendre avec des pincettes car cette étude a été faite aux Etats-Unis et les espèces de rapaces ne sont pas les mêmes qu'en Europe et chaque rapace a une acuité visuelle différente donc il faudrait adapter ce motif aux acuités visuelles des espèces présentes en France. Une deuxième étude norvégienne a été menée en peignant en noir le bout des pâles de certaines éoliennes d'un parc éolien de Smøla (**Annexe 6**) et cela a réduit de 71.9% le taux de mortalité aviaire face aux éoliennes. **[20]**

Pour dissuader les rapaces de s'approcher des parcs éoliens, il est recommandé de réduire l'attrait de la zone. Cela implique de ne pas favoriser la création ou la conservation de micro-habitats propices, tels que les tas de pierres. De plus, il est conseillé de retarder la fauche afin de maintenir une végétation dense et haute, comme des fourrés ou des buissons, qui ne conviennent pas à la chasse des rapaces. Pour minimiser les risques de collision entre les oiseaux charognards et les éoliennes, il est important d'éviter d'installer des parcs à proximité de décharges à ciel ouvert. Bien que les espaces agricoles puissent sembler des sites favorables pour l'implantation de parcs éoliens en raison de leur biodiversité relativement faible, ils présentent également des inconvénients. En effet, ces zones peuvent offrir une abondance de nourriture pour les rapaces, notamment grâce aux cultures qui attirent de nombreux mammifères, qui sont des proies potentielles des rapaces. **[9]**

D'autres solutions plus technologiques ont été développées pour réduire les impacts des éoliennes sur les rapaces, notamment des systèmes de détection pour limiter les risques de collision avec les oiseaux. Une start-up française, Biodiv-Wind, explique comment est composé leur système et comment il fonctionne.

“Les 8 caméras HD et les 4 avertisseurs sonores fixés sur le mât sont reliés à une unité informatique qui analyse en temps réel et en continu les flux vidéo reçus, afin de détecter les intrusions éventuelles de volatiles. Le système engage alors des actions d'effarouchement ou d'arrêt des pâles, qui repartent lorsque les oiseaux sont sortis de la zone de risque” **[21]**

Ces innovations pour qu'elles soient efficaces devraient être testées. C'est le cas pour le parc éolien des Tulipes, où la société H2air a mis en place un oiseau drone identique à un faucon pèlerin pour tester le système de détection de la zone. **[22]**

Enfin, le projet appelé MAPE (Réduction de la Mortalité Aviaire dans les Parcs Éoliens en exploitation) a été mis en place pour justement répondre à la problématique de la mortalité aviaire dans les parcs éoliens terrestres en France Métropolitaine. Ce projet est un programme de recherche collaboratif regroupant pour la première fois l'ensemble des acteurs concernés par cette problématique. Il est divisé en plusieurs axes de recherche comme la compréhension des conditions favorisant les collisions d'oiseaux dans les parcs éoliens en exploitation, l'évaluation des conséquences des collisions sur les

populations d'oiseaux, la production de connaissances pour améliorer les solutions de réduction de la mortalité aviaire et l'évaluation des dispositifs de détection actuellement en place. Le MAPE est co-financé sur 4 ans de 2021 à 2024 par le secteur public (DREAL, ADEME, Région Occitanie, ...) et par le secteur privé. **[23]**

Pour conclure cette partie, aujourd'hui de nombreuses solutions ont été trouvées et mises en place pour justement réduire les impacts des éoliennes sur les rapaces.

Conclusion

En résumé, ce travail de recherche souligne l'importance de prendre en compte les interactions entre le développement des parcs éoliens et la conservation des rapaces. Nos recherches ont permis d'identifier une série d'impacts que provoque l'énergie éolienne sur les oiseaux de proie, notamment la collision avec les pales des éoliennes, la perturbation de l'habitat et le comportement de certains oiseaux migrateurs.

Ces résultats montrent la nécessité d'adopter des solutions qui combinent le développement de l'énergie éolienne avec la protection des oiseaux de proie et de leurs habitats. Des mesures d'atténuation, telles que la sélection de sites appropriés et l'installation de dispositifs de détection et d'évitement des collisions, peuvent contribuer à réduire les impacts négatifs sur les rapaces tout en maintenant les avantages de l'énergie éolienne.

D'autre part, il est important de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre les interactions entre l'énergie éolienne et les oiseaux de proie, en particulier en ce qui concerne les effets à long terme et les réponses comportementales des espèces aux éoliennes.

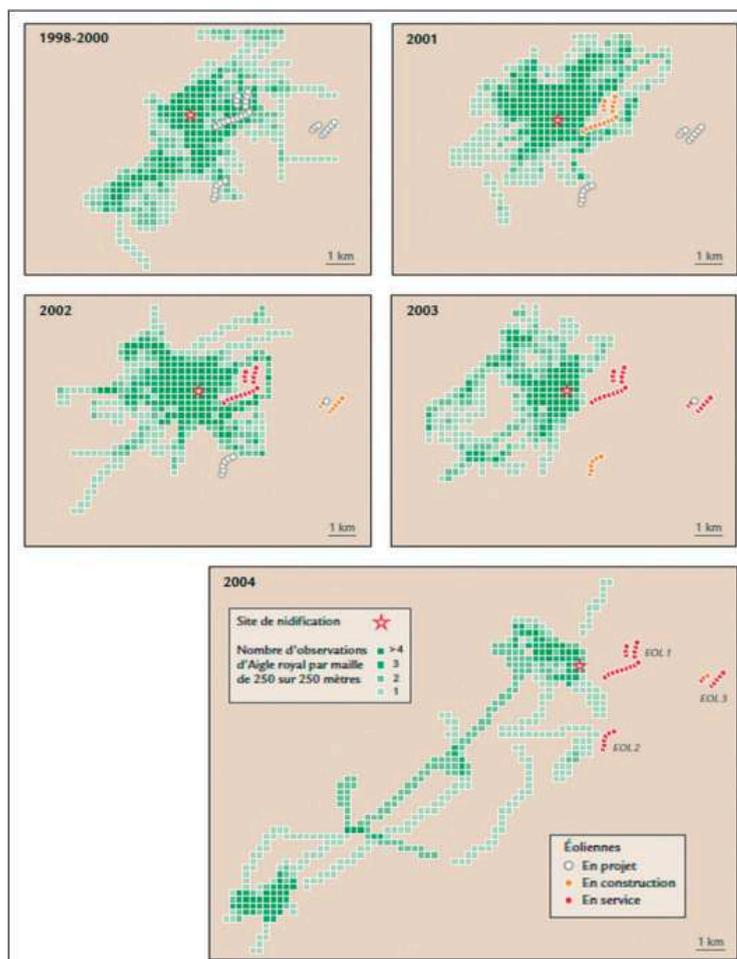
Enfin, ce travail souligne l'importance de la collaboration entre les développeurs de parcs éoliens, les gestionnaires de l'environnement, les chercheurs et les acteurs locaux pour concevoir et mettre en œuvre des solutions durables qui concilient la production d'énergie renouvelable avec la nécessité de conserver la biodiversité des oiseaux. En étant engagés et en prenant en compte la cause environnementale, nous pouvons nous assurer que l'énergie éolienne contribue efficacement à la lutte contre le changement climatique, tout en préservant la richesse et la diversité de nos écosystèmes pour les générations futures.

Résumé en Anglais

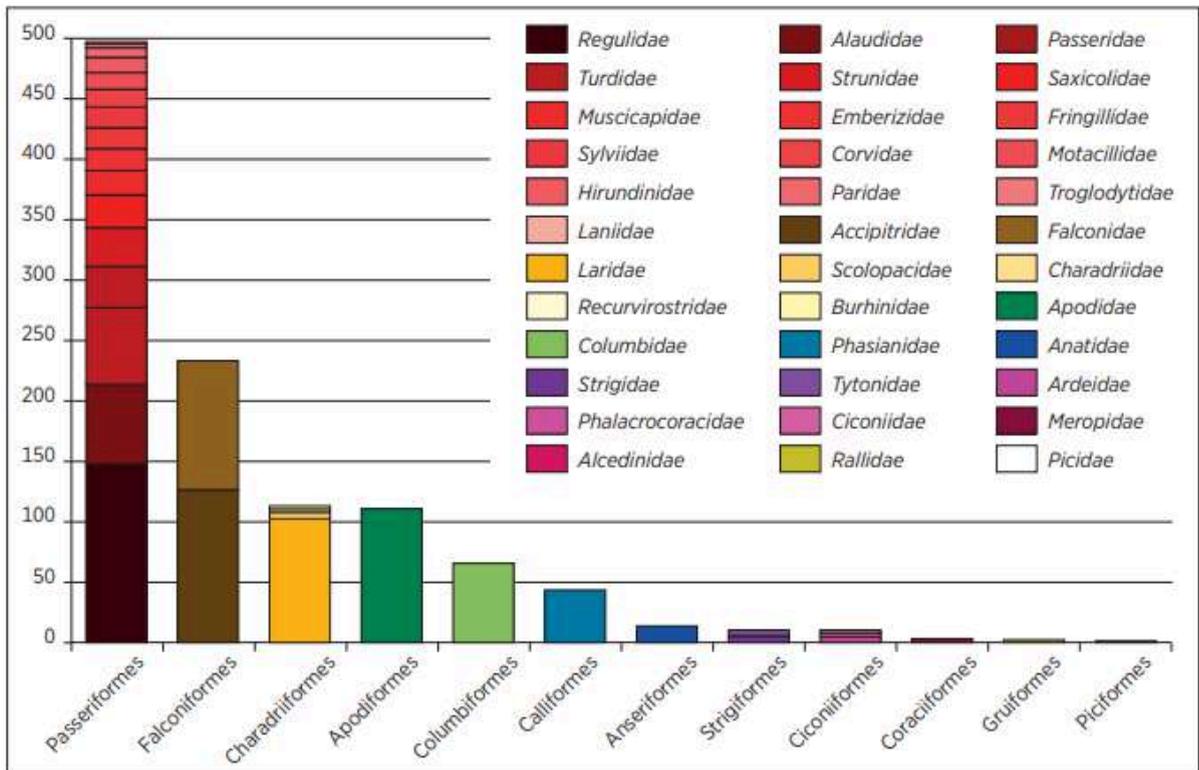
Birds of prey play a crucial role in our ecosystems, regulating prey populations, helping to control disease and providing essential ecological services. However, wind farms pose a threat to these birds through collisions and habitat loss. The impact of wind turbines on birds of prey is significant, especially for species such as the red kite, which is particularly vulnerable to collisions. A number of solutions have been proposed to mitigate these impacts. These include specific adjustments to the design and location of wind farms, technical adaptations such as detection systems, and changes to surrounding farming practices. Research initiatives, such as the MAPE project, have also been launched to better understand and manage these problems. In short, although wind farms are an important source of renewable energy, it is crucial to take into account the impact on wildlife, particularly birds of prey, and to implement measures to minimize these adverse effects.

Annexes

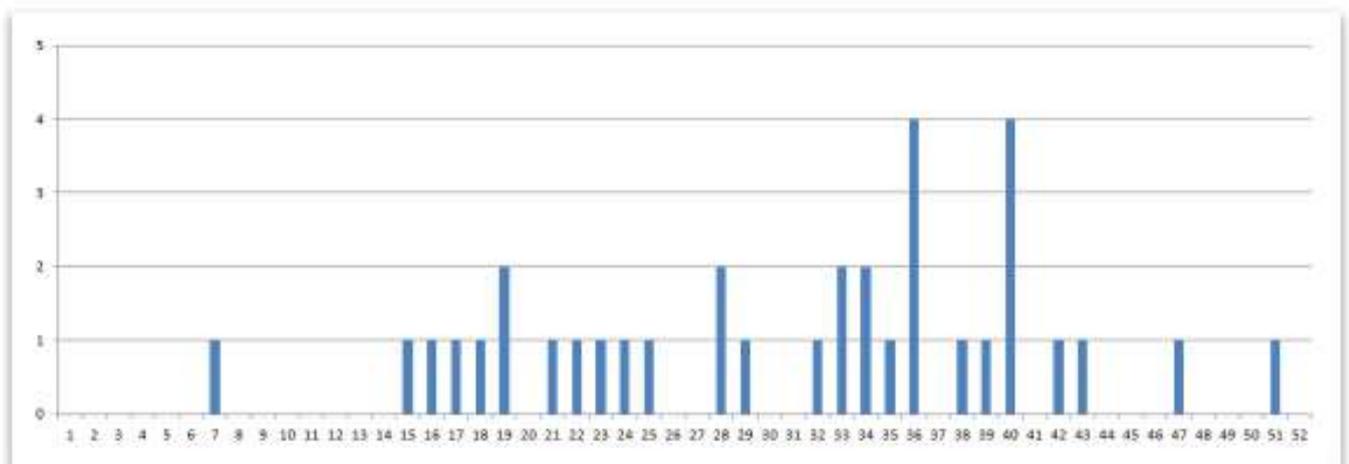
Annexe 1: Fréquentation de l'aire de l'étude (carrés de 250 m de côté) par l'aigle royal *Aquila chrysaetos* et localisation des éoliennes pour la période 1998-2000 (avant la construction du parc éolien) puis de 2001 à 2004 (**RIOLS-LOYRETTE, 2015**)



Annexe 2: Nombre et classification par ordre et par famille des oiseaux retrouvés sous les éoliennes françaises entre 1997 et 2015 (MARX, 2017)



Annexe 3: Semaines de découverte des Faucons crécerelles (MARX, 2017)



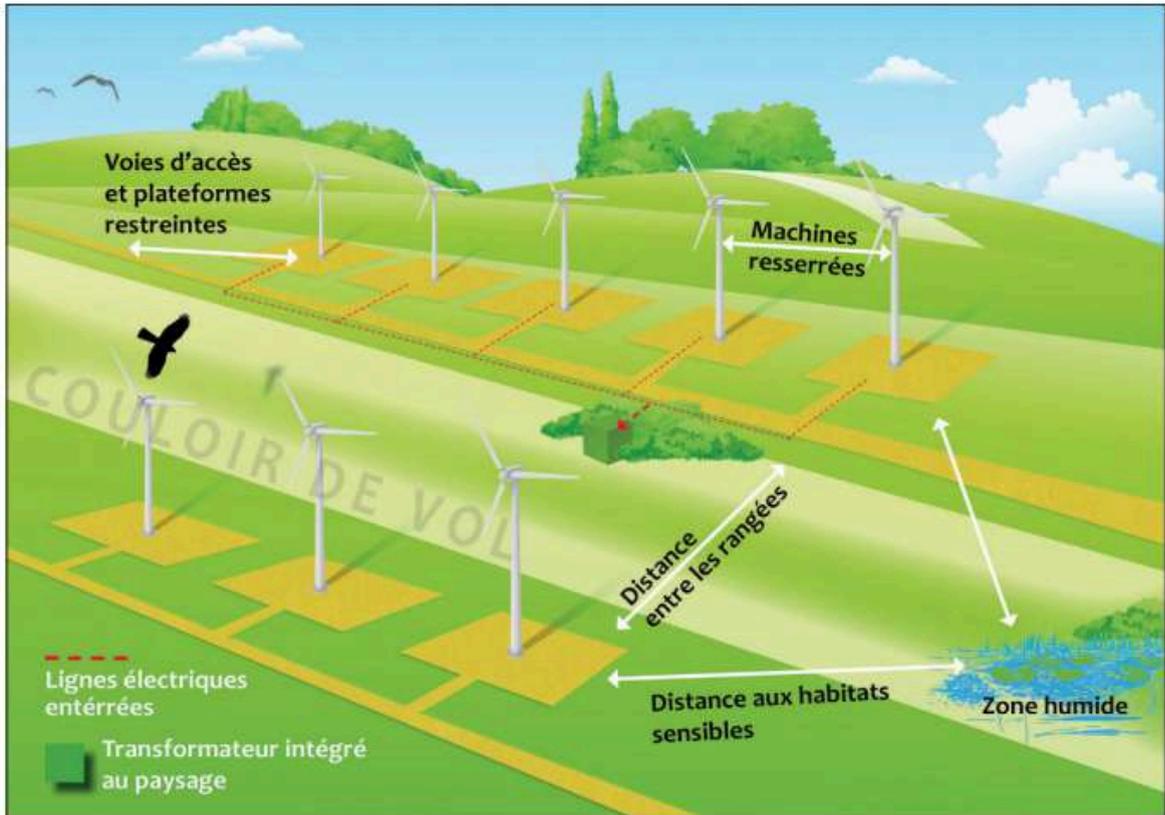
Annexe 4: Réactions de pré-franchissement par espèces principales (effectifs et % par espèce) (LPO AUDE, 2001)

Famille	Demi-tour	Séparation de groupe	Total des réactions de pré-franchissement	Pas de réaction de pré-franchissement
Epervier d'Europe <i>Accipiter nisus</i>	1 2%	0 0%	1 2%	46 98%
Martinet noir <i>Apus apus</i>	22 9,5%	19 8,5%	41 18%	189 82%
Buse variable <i>Buteo buteo</i>	0 0%	0 0%	0 0%	3 100%
Cigogne blanche <i>Ciconia ciconia</i>	0 0%	0 0%	0 0%	10 100%
Cigogne noire <i>Ciconia nigra</i>	0 0%	0 0%	0 0%	3 100%
Busard des roseaux <i>Circus aeruginosus</i>	3 7%	0 0%	3 7%	38 93%
Circète Jean-le-Blanc <i>Circaetus gallicus</i>	0 0%	0 0%	0 0%	7 100%
Pigeon ramier <i>Columba palumbus</i>	12 15,5%	7 9%	19 24,5%	58 75,5%
Hirondelle de fenêtre <i>Delichon urbica</i>	32 54%	0 0%	32 54%	27 46%
Faucon hobereau <i>Falco subbuteo</i>	4 40%	0 0%	4 40%	6 60%
Faucon crécerelle <i>Falco tinnunculus</i>	2 4%	5 9%	7 13%	47 87%
Hirondelle rustique <i>Hirundo rustica</i>	14 14,5%	15 15,5%	29 30%	69 70%
Guépier d'Europe <i>Mempis apister</i>	20 12,5%	0 0%	20 12,5%	142 87,5%
Milan noir <i>Milvus migrans</i>	4 2,5%	55 34%	59 36,5%	103 63,5%
Bondrée apivore <i>Pernis apivorus</i>	22 8,5%	62 18,5%	84 25%	253 75%
Total	136 10,5%	163 12,5%	1 300 22,5%	1 001 77,5%

Annexe 5: Photographie de Roel May de la Centrale éolienne de Smøla.



Annexe 6: Quelques mesures permettant de mitiger les impacts lors de la disposition des machines sur le site (ONCFS)



Bibliographie

- [1] **SOUTTOU K. et al.** (2015). *Importance de la prédation de trois rapaces sur la biodiversité dans des milieux steppiques à Djelfa (Algérie)*. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Générale 8 : 97-103.
- [2] **MEERBURG B.G., SINGLETON G.R. & KIJLSTRA A.** (2009). *Rodent-borne diseases and their risks for public health*. *Critical Reviews in Microbiology*, 35 (3), 221–270
- [3] **CHOISY J-P.** (2011). *Les vautours à la croisée des politiques de biodiversité, du tourisme, de l'environnement et de l'agriculture*. Le Courrier de l'environnement de l'INRA, 61, pp.69-83.
- [4] **ORABI P.** (18 avril 2011). *Argumentaire et plan d'actions pour la conservation du Vautour fauve en France*. LPO
- [5] **CHASSAGNE M.** (1998). *Les vautours, équarrisseurs naturels des grands Causses*. Thèse de doctorat vétérinaire. École nationale vétérinaire de Lyon
- [6] **TABERLET P.** (1986). *Étude de l'écologie des micromammifères à partir des pelotes de réjection de *Tyto alba* (Scopoli, 1769). Application au bas-Chablais (Haute-Savoie, France)*. *Revue d'Écologie*, 41 (2-3), pp.193-215.
- [7] **RIOLS-LOYRETTE C.** (2015). *Impact de parcs éoliens sur un couple d'aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières*. *Ornithos* 22(4) : 196-207
- [8] **ITTY C & DURIEZ O.** (2018). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : l'exemple de l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) dans le sud du massif central*. Actes du Séminaire Eolien et Biodiversité-Artigues-près-Bordeaux-21 et 22 novembre 2017. p. 42.
- [9] **GAULTIER S.P., MARX G., & ROUX D.** (2019). *Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer*. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p
- [10] **MARX G.** (2017). *Le Parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune*. Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015. LPO.
- [11] **BARRIOS L. & RODRIGUEZ A.** (2004). *Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore turbines*. *Journal of Applied Ecology*. 41. 72 - 81. 10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x.
- [12] **LPO AUDE** (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du Plateau de Garrigue Haute (Aude)*
- [13] **HÖTKER H. & DÜRR T., GRAJETZKY B., GRÜNKORN T., JOEST R., KRONE O., MAMMEN K., MAMMEN U., NEHLS G., RASRAN L., RESETARITZ A. & TREU G.** (2017). *Conclusions, Risk Assessment, Conflict Minimisation, Practical Recommendations, Need for Further Research*. 10.1007/978-3-319-53402-2_16.
- [14] **BELLEBAUM J., KORNER-NIEVERGELTH F., DÜRR T., MAMMEN U.** (2013). *Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population*. *Journal for Nature Conservation* 2, 394– 400

- [15] WHITFIELD D. P., FIELDING, A. H., MCLEOD, D. R. A., & HAWORTH, P. F. (2004). *Modélisation des effets de la persécution sur la dynamique de la population d'aigles royaux en Écosse*. *Biological Conservation*, 119, 319-333.
- [16] CARRETE M., SANCHEZ-ZAPATA J. A., BENITEZ J. R., LOBON M. et DONAZAR J. A. (2009). *Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor*. *Biological Conservation*, 142, 2954-2961.
- [17] GRAJETZKY B., NEHLS G. (2010). *Telemetric Monitoring of Montagu's Harrier in Schleswig-Holstein*. In *Birds of Prey and Wind Farms*, pp. 97-148.
- [18] SCHAUB T. et al. (2023). *How to improve the accuracy of height data from bird tracking devices? An assessment of high-frequency GPS tracking and barometric altimetry in field conditions*. *Animal Biotelemetry*. 11. 10.1186/s40317-023-00342-1.
- [19] MCISAAC H.P (1996). *Raptor Acuity and Wind Turbine Blade Conspicuity*. Raptor Research Center, Boise State University. Department of Biological Sciences, F.W. Olin Science Hall, University of Denver
- [20] CARPIO M-A. (2 Déc. 2020). *Comment mieux protéger les oiseaux des éoliennes ?*, National Geographic,
<https://www.nationalgeographic.fr/environnement/2020/12/comment-mieux-protoger-les-oiseaux-des-eoliennes#:~:text=D%27apr%C3%A8s%20une%20C3%A9tude%20r%C3%A9cente,les%20chocs%20avec%20les%20oiseaux>
- [21] BOUEDEC A. (17 nov. 2020). *Il invente un système pour protéger les oiseaux des éoliennes*, Les éclairateurs,
<https://leseclaireurs.canalplus.com/articles/decouvrir/il-invente-un-systeme-pour-protoger-les-oiseaux-de-s-eoliennes>
- [22] CLARKE B. (15 sept. 2021). *Un oiseau drone pour tester les systèmes de détection des éoliennes*, *Actu-Environnement*,
<https://www.actu-environnement.com/ae/news/oiseau-drone-tester-systemes-detection-eoliennes-38164.php4>
- [23] **Projet MAPE** - Réduction de la Mortalité Aviaire dans les Parcs Éoliens en exploitation,
<https://mape.cnrs.fr/>