

Projet de recherche  
« Réduction de la Mortalité Aviaire  
dans les Parcs Éoliens en Exploitation »

## ***Guide d'utilisateur de l'application web eoldist***

Julie Fluhr <sup>1</sup>, Aurélien Besnard <sup>2</sup> et Olivier Duriez <sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNRS, UMR5175 CEFE, Montpellier, France

<sup>2</sup> EPHE, UMR5175 CEFE, Montpellier, France

<sup>3</sup> Université de Montpellier, UMR5175 CEFE, Montpellier, France

## Introduction

L'application web « eoldist » a été développée par Julie Fluhr dans le cadre du Workpackage WP3 R3 du programme de recherche MAPE. Destiné à divers utilisateurs (DREALs, bureaux d'étude, opérateurs éoliens, etc.), cet outil permet de déterminer les distances minimales de détection de 163 espèces d'oiseaux [en fonction de différents paramètres dont le contexte de vol et les caractéristiques des turbines,] de façon à réduire les risques de collision dans les parcs éoliens.

Le présent document détaille les conseils d'utilisation de l'application.

## Lancement des calculs

A l'ouverture de l'application, l'onglet « Calcul des distances de détection » permet d'accéder à l'outil « eoldist » dédié au calcul :

- des vitesses de vol des espèces référencées (bloc supérieur de l'interface), et
- des distances de détection des espèces en fonction de différents paramètres (bloc inférieur)

Ces deux blocs sont construits de telle sorte que les sous-blocs (partie gauche de l'interface) permettent à l'utilisateur de choisir les paramètres à partir desquels seront calculées et représentées graphiquement les vitesses de vol des espèces et leurs distances de détection (partie droite de l'interface).

## 1. Calcul des vitesses de vol des espèces

### 1.1. Choix des paramètres : entrée des données aviaires

Le premier sous-bloc intitulé « Entrée des données aviaires » permet à l'utilisateur de choisir l'espèce d'oiseau et le contexte de vol à partir desquels sera calculée la vitesse de vol moyenne ( $\pm$  écart-type) de l'espèce (dans la mesure où des données sont disponibles).

#### **Espèce cible**

L'utilisateur choisit une espèce à partir du menu déroulant précédé de la mention « Sélectionner une espèce ». L'utilisateur peut rechercher une espèce en faisant défiler la liste manuellement ou en saisissant son nom vernaculaire (en français) ou son nom scientifique (en latin).

#### **Contexte de vol**

L'utilisateur peut choisir le contexte de vol / l'échelle de déplacement de l'espèce :

- « Migration » : cette catégorie regroupe les déplacements de moyennes à longues distances comprenant les vols migratoires et la dispersion chez les individus juvéniles. Lors de ces

déplacements migratoires ou de dispersion, les oiseaux choisissent généralement de voler à des vitesses élevées.

- « Local » : cette catégorie regroupe les déplacements de courtes distances dont les vols de recherche alimentaire, les transits entre une zone d'alimentation et la colonie, les vols de parades ou de chasse. Lors des déplacements en vol local, les oiseaux choisissent généralement des vitesses de déplacement plus lentes. Il existe cependant de notables exceptions, comme les vols de chasse en poursuite ou piqué de rapaces, qui impliquent des vitesses de vol bien supérieures.

## 1.2. Affichage des résultats : distribution des vitesses de vol de l'espèce

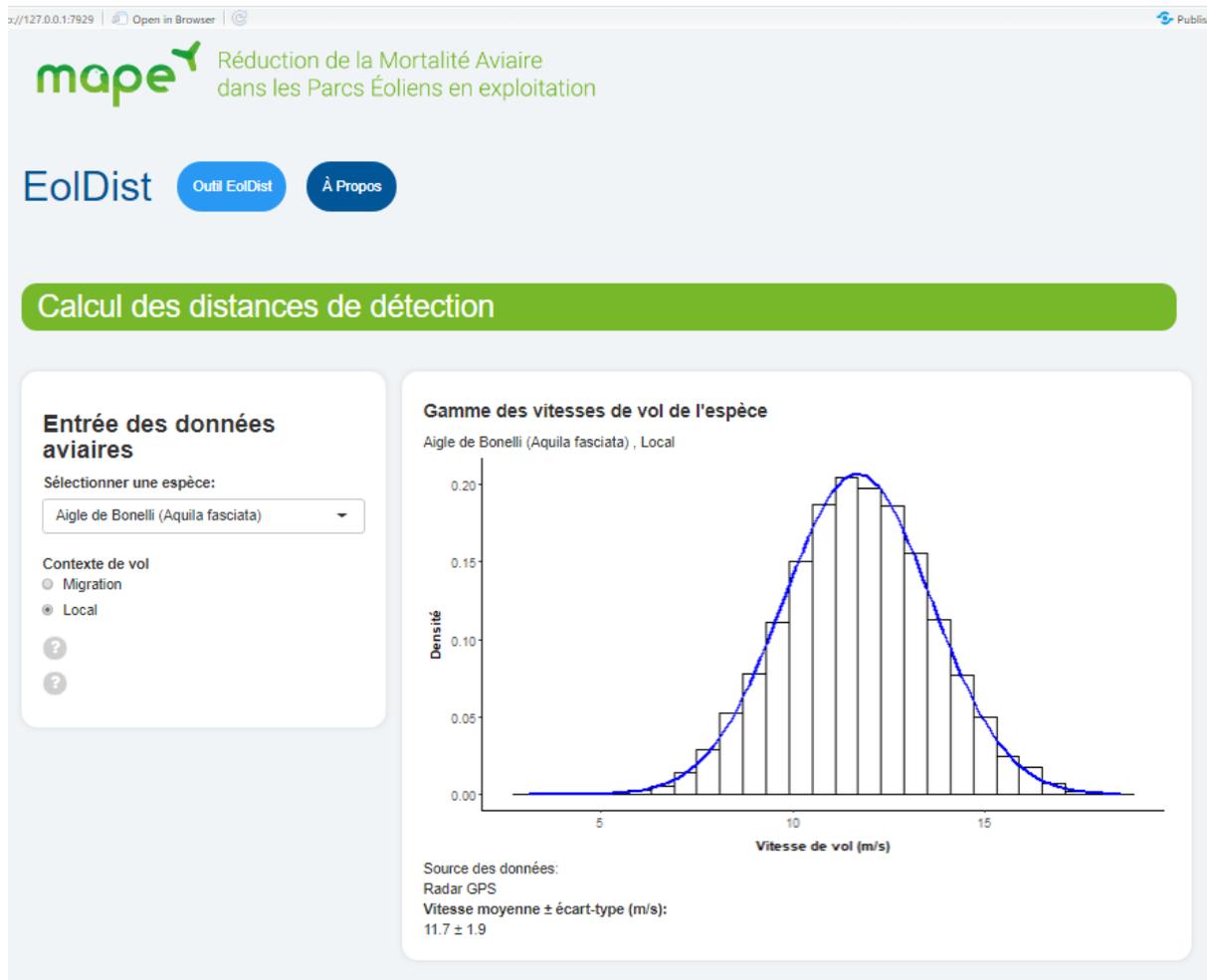
Le sous-bloc en haut à droite affiche la distribution de probabilités des vitesses de vol, autrement dit la gamme des vitesses de vol possibles de l'espèce dans le contexte de vol choisi par l'utilisateur. Cette distribution est construite à partir des valeurs de vitesses de vol moyennes observées ou théoriques chez l'espèce dans le contexte de vol choisi, ou théoriques et de leur écart-type.

Les vitesses dites « observées » ont été calculées à partir de données télémétriques (GPS ou VHF) ou à partir de données recueillies par radar ou par ornithodolite (télémetre laser). D'autre part, les vitesses de vol « observées » peuvent être issues de deux sources : soit recueillies dans des publications scientifiques, soit calculées à partir de données GPS collectées auprès de chercheurs et de gestionnaires français et internationaux (cf onglet « A propos ») et analysées dans le cadre du programme MAPE. Les vitesses « observées » sont des vitesses relatives au sol, qui sont les plus pertinentes dans le contexte éolien où les systèmes de détection sont fixes par rapport au sol. Ces vitesses relatives au sol prennent donc en compte la variabilité naturellement observée des vitesses de vol qui peuvent être accélérées par vent arrière et ralenties par vent de face.

Si pour une espèce donnée, aucune mesure de vitesse de vol n'a été trouvée dans la littérature ou calculée par télémétrie, alors il a été calculé une vitesse de vol théorique à partir des modèles aérodynamiques de Pennycuik (2008 Program Flight) se basant sur des données biométriques (la masse corporelle, l'envergure et la surface des deux ailes). Contrairement aux vitesses de vol « observées » où le référentiel est le sol, ces modèles théoriques permettent de calculer la vitesse de vol relative à la masse d'air. En contexte de vol local, les oiseaux volent en général moins vite qu'en migration. Dans ce contexte, il a été choisi d'utiliser la vitesse  $V_{mp}$  (minimum power). Dans un contexte de migration, il a été utilisé la vitesse  $V_{mr}$  (maximum range), plus élevée. Il faut noter que les calculs théoriques ne renvoient pas d'erreur standard sur les vitesses de vol. Pourtant les vitesses de vol sont bien entendu variables dans la réalité. Par ailleurs l'application *eoldist* a besoin de cette variabilité pour calculer la distribution des distances de détection minimales. Pour ces espèces, nous avons donc fixé une erreur standard basée sur celle des espèces pour lesquelles nous avons l'information. Pour obtenir cette erreur standard, nous avons calculé pour toutes les espèces étudiées par GPS ou radar, le coefficient de variation des vitesses de vol et utilisé le coefficient de variation moyen de ces espèces.

Quand plusieurs types de données étaient disponibles pour une espèce, nous avons utilisé en priorité les vitesses « observées » et non les vitesses « théoriques ».

Le(s) type(s) de données utilisé(s) et la vitesse moyenne ( $\pm$  écart-type) de l'espèce sont affichés à droite du graphique.



## 2. Calcul des distances de détection minimales des espèces

D'après l'équation proposée dans un rapport de KNE (centre de compétences pour la protection de la nature et la transition énergétique, Allemagne) publié en 2019 :

Distance de détection =  $[(T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}}) * V_{\text{cible}}] + L_{\text{rotor}}$  avec

- $T_{\text{décision}}$  : la durée de prise de décision inhérent au système. Il s'agit de la durée nécessaire pour détecter, classer et identifier la cible, et pour estimer le risque de collision en fonction de différents paramètres tels que la trajectoire et la vitesse de déplacement de la cible. Dans l'outil « EolDist », cette durée est fixée arbitrairement à 1 seconde.

- Tsignal : la durée de traitement et d'envoi de la commande de ralentissement/arrêt du rotor entre le système de détection-réaction et le SCADA, puis entre le SCADA et la turbine. Dans l'outil « EolDist », cette durée est fixée arbitrairement à 1 seconde.
- Trotor = la durée de ralentissement/arrêt du rotor. Il s'agit de la durée nécessaire au rotor pour atteindre une vitesse seuil de rotation résiduelle une fois l'ordre d'arrêt envoyé au SCADA. Dans l'outil « EolDist », cette durée est modélisée en fonction de quatre paramètres : le type de turbine, la longueur de pale, la vitesse de vent initiale, le seuil de vitesse de rotation résiduelle du rotor. Les données utilisées pour modéliser les durées de ralentissement du rotor ont été recueillies dans le cadre d'un protocole élaboré par nos soins et proposé aux opérateurs éoliens impliqués dans le projet MAPE. Aussi les résultats relatifs à cette partie de l'application sont amenés à évoluer si de nouveaux tests sont réalisés sur le terrain.
- Vcible = la vitesse de déplacement de la cible (calculée dans la partie 1 de l'outil « EolDist »).
- Lrotor = la longueur de la pale.

## 2.1. Choix des paramètres : entrée des données éoliennes

Le deuxième sous-bloc gris intitulé « Entrée des données éoliennes » permet à l'utilisateur de choisir les valeurs des paramètres utilisés pour calculer d'une part, la durée moyenne ( $\pm$  écart-type) de ralentissement du rotor pour atteindre une vitesse seuil de rotation résiduelle, et d'autre part la distance minimale de détection de l'espèce (à partir de la formule de KNE présentée précédemment).

Dans un premier temps, l'utilisateur choisit les valeurs des quatre paramètres à partir desquels est modélisée la durée de ralentissement du rotor.

### Type de machine

L'utilisateur choisit le type de turbine : synchrone ou asynchrone. Les turbines actuellement proposées sur le marché se répartissent en deux grandes familles suivant l'architecture de leur génératrice électrique : celles équipées d'une génératrice synchrone (environ 25 % du marché), et celles équipées d'une génératrice asynchrone (environ 75 % du marché) (source : <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/les-principales-technologies-eoliennes/>). La turbine synchrone implique un entraînement mécanique direct entre le moyeu de l'éolienne et la génératrice. La turbine asynchrone nécessite de fonctionner à une vitesse nominale de plusieurs centaines de tours par minute, ce qui implique l'utilisation d'un multiplicateur entre le rotor et la génératrice. Cette chaîne cinétique implique des forces de frottements qui empêchent la rotation du rotor par vent faible. La turbine asynchrone peut supporter de légères variations de vitesse de vent, notamment lors de rafales.

## Longueur de pale (m)

La longueur de pale est à la fois un paramètre utilisé pour modéliser la durée de ralentissement du rotor, et un paramètre inclus dans la formule de KNE pour calculer la distance de détection d'une cible à l'approche d'une éolienne.

Compte tenu des données recueillies à ce jour (novembre 2021) dans le cadre du protocole proposé aux opérateurs éoliens, la gamme des valeurs possibles des longueurs de pale varie entre 35 m et 56 m pour les machines synchrones et entre 40 m et 63 m pour les machines asynchrones.

## Vitesse de vent moyenne (m/s)

L'utilisateur choisit la vitesse de vent moyenne (5, 10 ou 15 m/s) à partir de laquelle est modélisée la durée de ralentissement du rotor. Les résultats de nos analyses statistiques montrent que l'interaction entre la vitesse de vent et la longueur de pale influence significativement la durée de ralentissement du rotor, ce qui implique que pour une vitesse de vent donnée, la vitesse de rotation du rotor ralentit différemment en fonction de la longueur de pale de la turbine.

A ce jour (janvier 2022), très peu de tests ont été réalisés dans des conditions de vent > 10 m/s, et ces quelques tests concernent majoritairement des machines synchrones. Aussi, les résultats associés sont à considérer avec précaution du fait de ces déséquilibres.]

## Vitesse seuil de rotation seuil résiduelle (rpm)

L'utilisateur choisit le seuil de vitesse de rotation résiduelle du rotor (1, 2 ou 3 rpm) pour calculer la durée nécessaire pour atteindre ce seuil (i.e. vitesse du rotor égale ou inférieure à cette vitesse seuil), une fois la commande d'arrêt lancée. A noter que la formule permettant de convertir une vitesse angulaire (N) exprimée en nombre de tours par minute (rpm) en une vitesse linéaire (V) exprimée en mètres par seconde (m/s) est la suivante :  $V = \frac{2\pi * r}{60} * N$  avec r, la longueur de pale de la turbine.

## Durée de ralentissement du rotor (s)

En fonction des valeurs des trois premiers paramètres (type de machine, longueur de pale, vitesse du vent), l'application estime et affiche la durée nécessaire pour que la vitesse de rotation résiduelle du rotor soit inférieure ou égale au seuil fixé par l'utilisateur (1, 2 ou 3 rpm). Attention, la vitesse de rotation résiduelle du rotor des machines synchrones avec des pales courtes ne descend pas en-dessous de 2 ou 3 rpm pour des vents supérieurs à 10 m/s dans les tests qui ont été réalisés dans le programme MAPE. De ce fait, quand ces caractéristiques sont choisies par l'utilisateur, cette information est affichée et aucun calcul de distance n'est alors possible.

### 2.2. Affichage des résultats : distance de détection de l'espèce

Le graphique qui s'affiche dans le sous-bloc de droite représente la distance de détection minimale de l'espèce dans le contexte de vol choisi (local ou migration) en fonction du pourcentage de vols détectés de ladite espèce. Ce pourcentage de vols détectés est défini par l'utilisateur grâce au curseur au-dessus du graphique. Plus le pourcentage de vols détectés est élevé, mieux la gamme des vitesses de vol possibles de l'espèce sera prise en compte, et donc plus précautionneuse sera la

distance de détection recommandée. L'utilisateur peut faire varier ce pourcentage de vols détectés par paliers de 5%.



## Recommandations

### Limites de l'application

L'application ne prend pas en compte la taille de l'oiseau ciblé. En effet, n'ayant pas d'information sur les capacités des systèmes optiques ou des systèmes radars utilisés pour détecter l'oiseau, et partant du principe que les performances de ces systèmes de détection-réaction sont amenées à évoluer avec les avancées technologiques, nous sommes partis du postulat que toutes les espèces pouvaient être détectées de la même manière à chaque distance. En conséquence, l'application fait l'hypothèse qu'un passereau comme une alouette sera détecté avec la même probabilité pour une distance donnée qu'un grand rapace comme un vautour. L'utilisateur doit donc garder à l'esprit que les valeurs de distance affichées sont théoriques et parfois irréalistes avec les technologies actuelles (exemple distance minimale de détection d'un passereau à plus d'un kilomètre). L'application informe donc l'utilisateur sur la distance minimale de détection qu'il faudrait obtenir pour parvenir à un bridage efficace de la machine pour éviter tout risque de collision.

## Références utilisées pour construire la base de données de vitesses de vol :

- Alerstam, T., Rosén, M., Bäckman, J., Ericson, P. G. P., & Hellgren, O. (2007). Flight Speeds among Bird Species: Allometric and Phylogenetic Effects. *PLOS Biology*, 5(8), e197. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050197>
- Bruderer, B., & Boldt, A. (2001). Flight characteristics of birds: I. radar measurements of speeds. *Ibis*, 143(2), 178–204. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2001.tb04475.x>
- Gustin, M., Ferrarini, A., Giglio, G., Pellegrino, S., & Annagrazia. (2014). First evidences of sexual divergences in flight behaviour and space use of lesser kestrel *Falco naumanni*. *Environmental Skeptics and Critics*, 2014, 3(1): 1-7.
- Friedemann, G., Leshem, Y., Kerem, L., Shacham, B., Bar-Massada, A., McClain, K. M., Bohrer, G., & Izhaki, I. (2016). Multidimensional differentiation in foraging resource use during breeding of two sympatric top predators. *Scientific Reports*, 6(1), 35031. <https://doi.org/10.1038/srep35031>
- Hart, L. A., Wreford, E. P., Brown, M., & Downs, C. T. (2018). Hunting flight speeds of five southern African raptors. *Ostrich*, 89(3), 251–258. <https://doi.org/10.2989/00306525.2018.1455754>
- Hernández-Pliego, J., Rodríguez, C., & Bustamante, J. (2015). Why Do Kestrels Soar? *PLOS ONE*, 10(12), e0145402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145402>
- Nuijten, R. J. M., Gerrits, T., Shamoun-Baranes, J., & Nolet, B. A. (2020). Less is more: On-board lossy compression of accelerometer data increases biologging capacity. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 237–247. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13164>
- Pennycuik, C. (1997). Actual and “optimum” flight speeds: field data reassessed. *Journal of Experimental Biology*, 200(17), 2355–2361.
- Pennycuik, C. J. (1987). Flight of Auks (Alcidae) and Other Northern Seabirds Compared with Southern Procellariiformes: Ornithodolite Observations. *Journal of Experimental Biology*, 128(1), 335–347.
- Pennycuik, C. J. (1990). Predicting Wingbeat Frequency and Wavelength of Birds. *Journal of Experimental Biology*, 150(1), 171–185.
- Pennycuik, C. J., Åkesson, S., & Hedenström, A. (2013). Air speeds of migrating birds observed by ornithodolite and compared with predictions from flight theory. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(86), 20130419. <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0419>
- Schnell, G. D., & Hellack, J. J. (1978). Flight Speeds of Brown Pelicans, Chimney Swifts, and Other Birds. *Bird-Banding*, 49(2), 108–112. <https://doi.org/10.2307/4512338>
- Shamoun-Baranes, J., & Loon, E. van. (2006). Energetic influence on gull flight strategy selection. *Journal of Experimental Biology*, 209(18), 3489–3498. <https://doi.org/10.1242/jeb.02385>
- Spaar, R. (1997). Flight strategies of migrating raptors; a comparative study of interspecific variation in flight characteristics. *Ibis*, 139(3), 523–535. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1997.tb04669.x>
- Xirouchakis, S. M., & Andreou, G. (2009). Foraging Behaviour and Flight Characteristics of Eurasian Griffons *Gyps fulvus* in the Island of Crete, Greece. *Wildlife Biology*, 15(1), 37–52. <https://doi.org/10.2981/07-090>

## **Remerciements aux contributeurs qui ont transmis des données :**

Nous sommes très reconnaissants envers les personnes suivantes qui ont aimablement partagé leurs données de suivi GPS, afin d'estimer la vitesse de vol des oiseaux dans des contextes de migration ou de vol local. Nous remercions également Joaõ Guilherme-Lopes pour nous avoir partagé des contacts utiles. Anselin Anny (Research Institute for Nature and Forest, Belgium)

- Byholm Patrik (University of Kelsinki, Finland)
- Buitendijk Nelleke (NIOO, the Netherlands)
- Champagnon Jocelyn (Station Biologique de la Tour du Valat, France)
- Dagys Mindaugas (Nature Research Centre, Lithuania)
- Duriez Olivier (CEFE, France)
- Francesiaz Charlotte (OFB, France)
- Friedemann Guilad (University of Tel Aviv, Israel)
- Jennings Scott (Audubon Canyon Ranch, USA)
- Kobierzycki Erick (LPO, France)
- Kurlavicius Petras (Vytautas Magnus university, Lithuania)
- Lee Simon (Natural England, United Kingdom)
- Mañosa Rifé Santiago (University of Barcelona, Spain)
- Millon Alexandre (IMBE, France)
- Monti Flavio (University of Sienna, Italy)
- Nathan Ran (University of Jerusalem, Israel)
- Nolet Bart (NIOO, the Netherlands)
- Nuijten Rascha (NIOO, the Netherlands)
- Pilard Philippe (LPO, France)
- Ponchon Cécile (CEN PACA, France)
- Roulin Alexandre (University of Lausanne, Switzerland)
- Santos Carlos D. (Max Planck Institute for Animal Behaviour, Germany)
- Schalcher Kim (University of Lausanne, Switzerland)
- Schaub Tonio (IMBE, France & University of Groningen, Dutch Montagu's Harrier Foundation, The Netherlands)
- Schlaich Almut (Dutch Montagu's Harrier Foundation, Groningen Institute, The Netherlands)
- de Seynes Aurélie (LPO, France)
- Spanoghe Geert (Research Institute for Nature and Forest, Belgium)
- Spiegel Orr (University of Jerusalem, Israel)
- Wikelski Martin (Max Planck Institute for Animal Behaviour)
- Žydelis Ramunas (Nature Research Centre, Lithuania)