



## SYNERGIE RAPPORT FINAL

Veuillez vérifier les informations pré-remplies (et les rectifier le cas échéant), compléter en français (ou en anglais si demandé spécifiquement : [EN]), et renvoyer ce document au plus tard le 30/06/2025 à l'adresse suivante : [claire.salomon@fondationbiodiversite.fr](mailto:claire.salomon@fondationbiodiversite.fr)

### I. Informations générales

---

**Titre du projet :** Impacts de l'EOLien sur l'utilisation des HABitats par les CHIROptères dans le temps et dans le paysage : implications pour la planification et la prédiction des impacts

**[EN] Title of project :**

**Acronyme :** Chiro-EolHab

**Porteur.euse principal.e :** Christian Kerbiriou et Camille Leroux

E-mail de la personne qui a rédigé le rapport : [camille.leroux@auddice.com](mailto:camille.leroux@auddice.com) et [fabien.verniest@mnhn.fr](mailto:fabien.verniest@mnhn.fr)

**Date de début du projet :** mai 2024

**Date d'achèvement du projet :** mai 2025

## **Résumé du projet (maximum de 300 mots)**

*La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour le publier sur ses plates-formes*

En phase d'exploitation, les éoliennes induisent des comportements d'attraction et d'évitement chez les chiroptères, générant alors des risques accrus de collisions ainsi qu'une perte d'habitats, respectivement. Pour concilier développement éolien et conservation de la biodiversité, la réglementation prévoit des mesures visant à éviter, réduire et compenser (ERC) les impacts de l'éolien sur la biodiversité. Cependant, les conditions dans lesquelles se produisent ces effets d'attraction et d'évitement sur les chiroptères et les mécanismes impliqués restent largement méconnus, faisant alors obstacle à des mesures s'inscrivant dans la démarche ERC adaptées. Bien que des études récentes publiées ou en cours ont permis de mieux comprendre les effets des éoliennes sur l'activité locale des chiroptères (au niveau de l'éolienne même) selon la distance aux haies et ont mis en évidence le rôle de l'effet de sillage – caractérisé par des turbulences et une diminution de la vitesse du vent en aval des éoliennes par rapport au vent – dans l'effet des éoliennes sur l'utilisation des habitats par les chiroptères sur plusieurs centaines de mètres, des lacunes importantes persistent sur l'influence de la structure du paysage et de la saisonnalité sur ces effets.

Ce projet ambitionnait donc d'évaluer le rôle du paysage dans les effets de l'éolien sur l'utilisation des habitats par les chiroptères, notamment leur réponse à l'effet de sillage, ainsi que la temporalité de ces effets à la fois à l'échelle des saisons (période de parturition VS période de migration) et à l'échelle des années (possible habituation ou au contraire dégradation progressive de l'utilisation des habitats impactés).

Pour ce faire, les porteurs de projet ont mobilisé les données issues d'un échantillonnage acoustique réalisé sur 116 sites d'enregistrement localisés sur des haies et effectué durant des nuits entières. L'emplacement de ces sites a permis d'explorer les réponses des chauves-souris selon un gradient de distances des éoliennes (25-1500 m) et d'angle par rapport au vent dominant. L'activité acoustique de trois taxons a été évaluée et comparée à deux saisons différentes et sur des parcs éoliens exhibant un gradient d'ancienneté.

Les analyses ont mis en évidence des comportements d'évitement des éoliennes dans la zone d'effet de sillage au printemps chez deux des trois espèces étudiées. Aucune réponse à l'effet de sillage n'a en revanche été détectée à l'automne. De façon générale, les caractéristiques et le fonctionnement des éolienne semblaient plus influencer l'activité des chauves-souris au printemps tandis que les variables météorologiques semblaient jouer un rôle plus important à l'automne. Aucun effet de la date de mise en service de l'éolienne la plus proche sur les réponses des chiroptères n'a été mis en évidence.

Ces résultats permettront à la fois d'assister la planification de l'éolien dans le paysage et de prédire et anticiper l'évolution des impacts au cours de l'année (saisons) et au cours des années (habituation, dégradation progressive ou pas d'évolution).

## **Mots clefs (5) :**

**sillage; chauves-souris; activité; paysage; temporalité**

### Contexte et objectifs (environ 1 500 caractères espaces inclus)

*Ceci sera utilisé dans la fiche résultat du projet. La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour publication sur ses plateformes. Vous serez consulté avant la publication. Ces éléments étant destinés au grand public, merci de veillez à rédiger ce texte dans une optique de vulgarisation.*

Les éoliennes peuvent causer des réponses d'attraction et d'évitement de la part des chiroptères, pouvant augmenter les risques de collisions et générer une perte d'habitats, respectivement. Nous savons que l'attractivité de l'habitat (distance aux haies) est un facteur déterminant dans la réponse des chiroptères aux éoliennes (Leroux et al. 2022<sup>a</sup>), soulevant l'importance de ce facteur comme levier de réduction de ces impacts lors de la planification. Par ailleurs, un premier mécanisme susceptible d'expliquer ces réponses a été identifié récemment (Leroux et al. 2024<sup>b</sup>) : l'effet de sillage (Figure 1). L'effet de sillage se produit en aval de l'éolienne par rapport au vent et se caractérise par (i) des turbulences et (ii) une diminution de la vitesse du vent, absorbée par l'éolienne. Or, un élément de connaissance crucial et manquant actuellement porte sur le caractère général de ces réponses comportementales dans le paysage et dans le temps. Par ailleurs, l'effet de sillage est directement lié à la rugosité du paysage ainsi qu'aux paramètres météorologiques, susceptibles de varier d'une saison à l'autre. Nous nous attendons donc à ce que les réponses comportementales des chiroptères aux éoliennes varient également selon les saisons et le paysage.

<sup>a</sup> Leroux, C., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., & Barré, K. (2022). Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. *Journal of Applied Ecology*, 59(8)

<sup>b</sup> Leroux, C., Barré, K., Valet, N., Kerbiriou, C., & Le Viol, I. (2024). Distribution of common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) activity is altered by airflow disruption generated by wind turbines. *Plos one*, 19(5), e0303368.

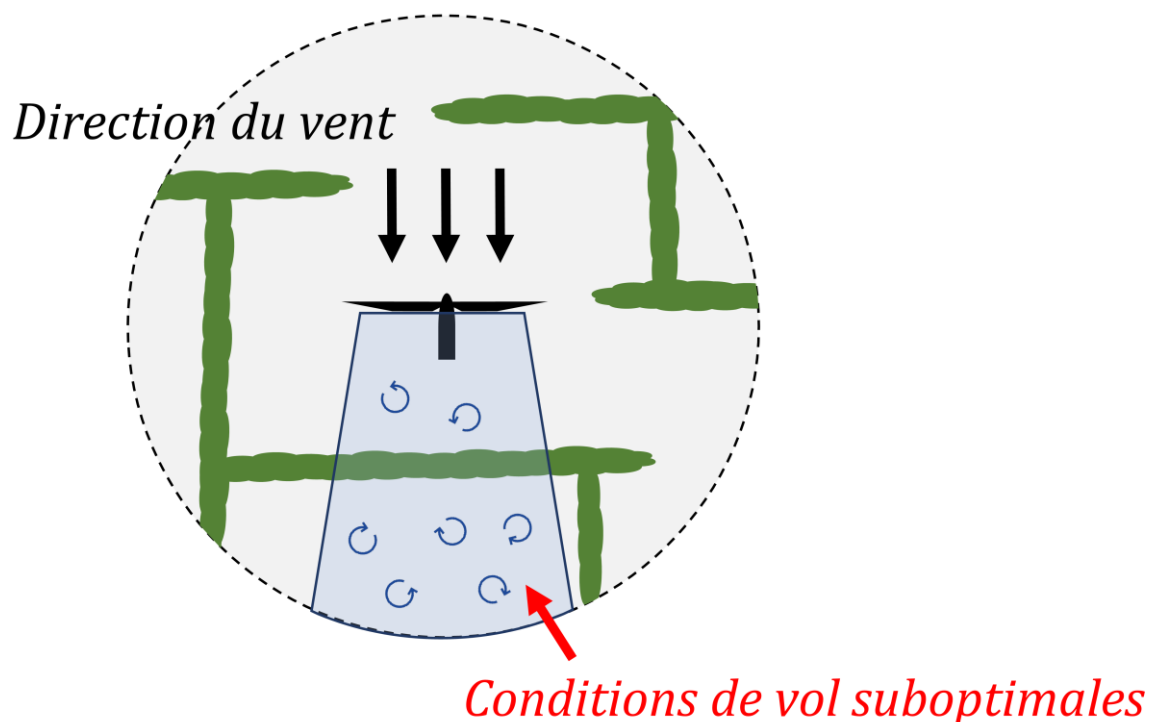


**Figure 1** : Représentation schématique d'une éolienne fictive vue de dessus (au centre) et de son effet de sillage dans des conditions de vent venant du nord. Les haies sont représentées en vert.

Les objectifs de ce projet étaient donc d'évaluer les réponses des chiroptères aux éoliennes et au sillage qu'elles génèrent en fonction :

- Des saisons (**Objectif 1**) : en comparant le printemps (période de parturition) et l'automne (période de migration).
- Du contexte paysager (**Objectif 2**) : en comparant deux régions caractérisées par des types de paysages très différents : l'ouest de la France (paysage très bocager) et le nord de la France (paysage très ouvert). Des éléments décrivant la structure et composition du paysage sont toutefois considérés pour répondre aux deux autres objectifs.
- De l'ancienneté des parcs (**Objectif 3**) : l'objectif étant de déterminer s'il existe un phénomène d'habituation ou au contraire une dégradation progressive de la fonctionnalité des habitats, ou encore une absence d'évolution ce qui permettrait de mieux évaluer les effets potentiels des éoliennes sur l'utilisation des habitats par les chiroptères dans le cadre d'études d'impact environnementales.

Pour cela, les réponses des chiroptères aux éoliennes ont été modélisées à partir de l'activité acoustique des chiroptères (i.e. le nombre de contacts total d'une espèce ou groupe d'espèces par nuit) dans l'espace autour de parcs éoliens (e.g., proche et loin de l'éolienne, dans l'effet de sillage ou à l'opposé, etc.). Nous avons défini un contact comme un ou plusieurs cris d'écholocation dans un intervalle de 5 secondes, standard largement utilisé en Europe (e.g. Millon et al., 2015; Put et al., 2019; Stahlschmidt & Brühl, 2012\*).

\* Millon, L., Julien, J. F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>

Put, J. E., Fahrig, L., & Mitchell, G. W. (2019). Bats respond negatively to increases in the amount and homogenization of agricultural land cover. *Landscape Ecology*, 34(8), 1889–1903. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00855-2>

Stahlschmidt, P., & Brühl, C. A. (2012). Bats as bioindicators – The need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 503–508. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00188.x>

## II. Equipe du projet

Liste des participants au projet (le cas échéant)

|   | Prénom NOM          | Affiliation         | Pays   |
|---|---------------------|---------------------|--------|
| 1 | Christian KERBIRIOU | CESCO               | France |
| 2 | Camille LEROUX      | Audicé biodiversité | France |
| 3 | Fabien VERNIEST     | CESCO               | France |
| 4 | Isabelle LE VIOL    | CESCO               | France |
| 5 | Kévin BARRE         | CESCO               | France |

## III. Rapport d'activité

*Décrivez les principales étapes de l'avancement du projet, ses principaux résultats et leur importance pour ce domaine de recherche particulier. Environ 8 à 10 pages*

### III.1 Description des travaux menés et des résultats scientifiques obtenus à l'attention d'un public scientifique.

Dans le cadre de cette étude, de nombreuses réflexions ont été menées sur le jeu de données. En effet, cette étude tient compte de phénomènes complexes, novateurs et à l'interface de différentes disciplines (les effets de sillage). De ce fait, afin de mener cette étude de la façon la plus qualitative possible, des discussions ont été engagées avec un spécialiste dans le domaine (IFP Énergies Nouvelles) afin de s'assurer d'une modélisation suffisamment réaliste du sillage pour mener à bien les objectifs de la présente étude, à savoir étudier la variation potentielle de l'effet de dérangement des éoliennes sur les chiroptères – généré par le sillage – à travers les saisons et le paysage. Ainsi, plusieurs éléments ont retenu notre attention lors de ces échanges :

1. La structure du paysage est déterminante dans l'effet de sillage
2. Les effets de sillage des éoliennes se cumulent de façon complexe et difficile à modéliser avec la méthode actuellement envisagée et reprise de Leroux et al. (2024<sup>a</sup>)
3. La description du sillage à une hauteur se trouvant sous le rotor et relativement proche du sol est encore très mal comprise, les modèles développés jusqu'ici ayant été produits dans un objectif industriel (modélisation du sillage à hauteur de rotor pour évaluer l'impact de celui-ci sur la production de l'éolienne suivante)

<sup>a</sup> Leroux, C., Barré, K., Valet, N., Kerbiriou, C., & Le Viol, I. (2024). Distribution of common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) activity is altered by airflow disruption generated by wind turbines. *Plos one*, 19(5), e0303368.

Compte-tenu de la complexité de modélisation évoquée ci-dessus (modèles numériques ou analytiques de dynamique des fluides en dehors du domaine de compétences de l'équipe du projet), nous avons décidé de prioriser la question de l'effet des saisons (Objectif 1) et traiter la question de l'influence du contexte paysager sur l'effet des éoliennes sur les chiroptères (Objectif 2) en dernier. En effet, les deux contextes paysagers se distinguent tout particulièrement par leur densité en éléments boisés dans le paysage (Figure 2), éléments particulièrement structurant de l'effet de sillage.

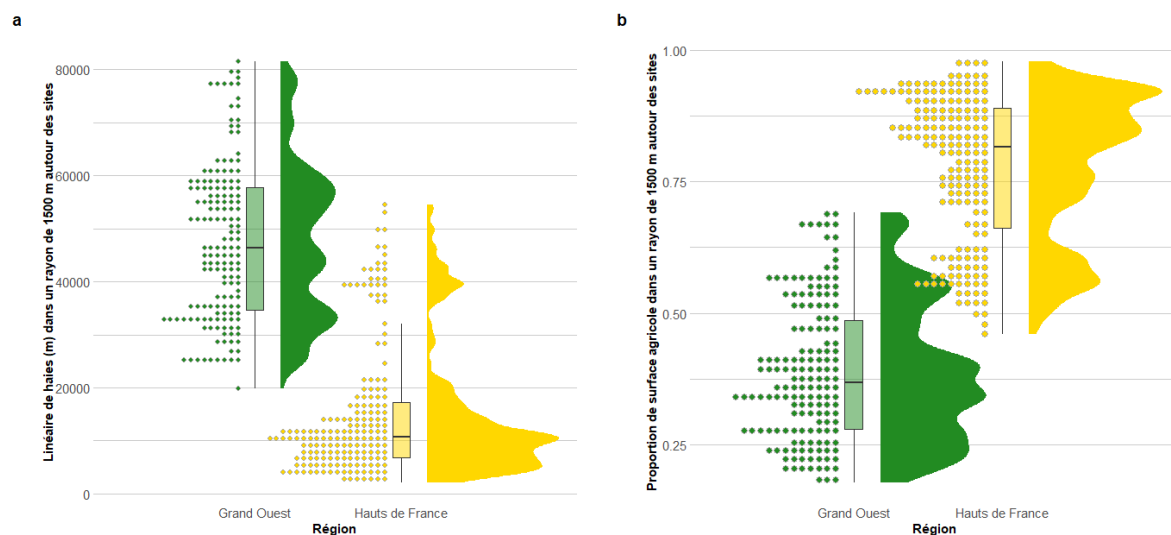


**Figure 2 :** Différences de linéaire de haies (a) et de proportion de surface agricole (b) dans un rayon de 1500 mètres entre les sites échantillonnés dans l'ouest de la France (vert) et la région « Hauts de France » (jaune).

Ainsi, nous espérons en parallèle avancer notre réflexion avec l'IFPEN sur la façon de tenir compte de la rugosité du paysage dans la modélisation de l'effet de sillage et ainsi pouvoir conduire des analyses qui aient le plus de sens possible écologiquement parlant. Malheureusement, la longueur des traitements mis-en-œuvre et détaillés plus après ne nous ont pas permis de répondre à cet

objectif dans les délais impartis. La question de l'effet potentiel d'ancienneté des parcs (phénomène d'habituation ou dégradation progressive de la fonctionnalité des habitats, ou encore absence d'évolution) (Objectif 3) a elle été explorée. Afin de s'assurer de la robustesse de nos résultats préliminaires et de maximiser la puissance statistique, il sera nécessaire de poursuivre les analyses de cette variable sur l'ensemble des jeux de données (345 sites dans l'ouest et le nord de la France) lorsque nous aurons plus d'éléments sur la façon de tenir compte de l'hétérogénéité paysagère dans la modélisation de l'effet de sillage. Nous nous sommes toutefois assurés que les gradients paysagers échantillonnés dans les deux régions étaient bien représentatifs des contextes paysagers de ces régions, à savoir un milieu plus bocager dans le Grand-Ouest et plus agricole dans les Hauts-de-France (Figure 2).

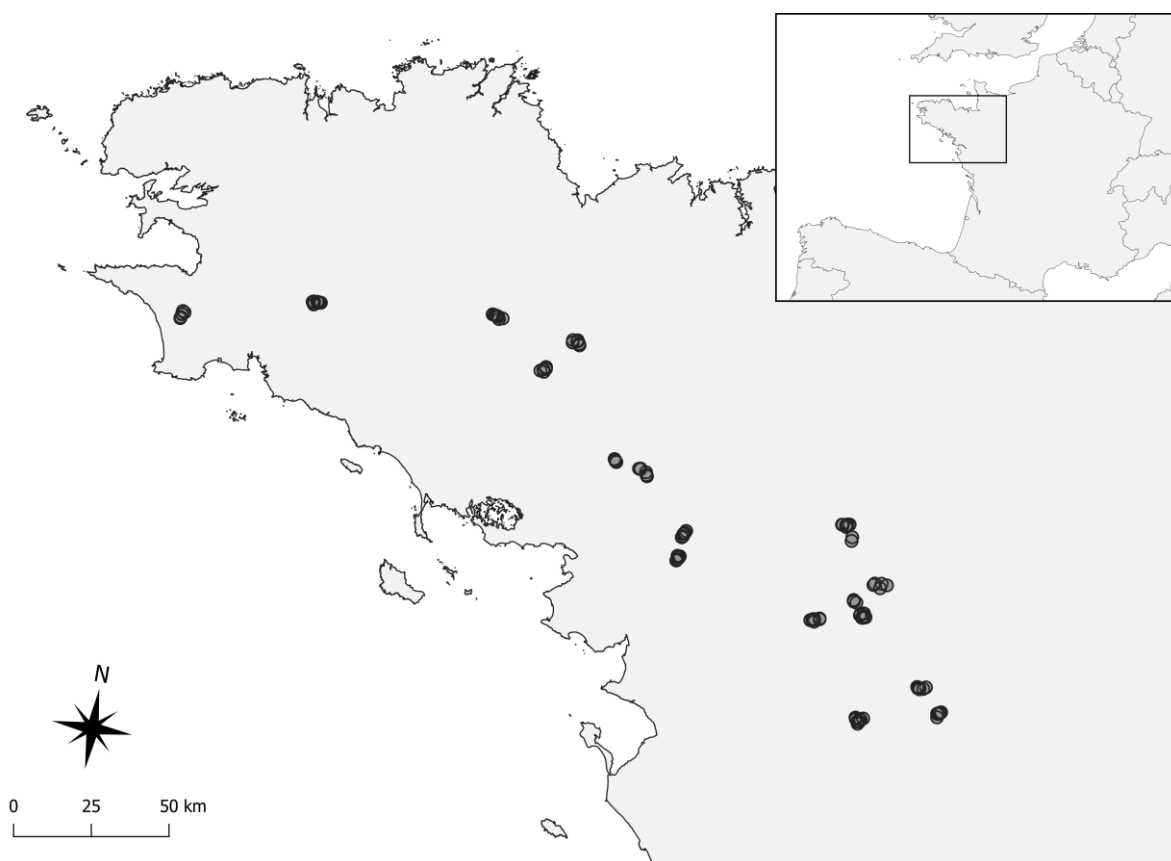


**Figure 3** : Carte représentant la localisation des 116 sites d'enregistrement dont les données ont été mobilisées dans le cadre de ce projet et pour lesquels l'échantillonnage acoustique des chauves-souris à proximité des éoliennes a été effectué à la fois à l'automne et au printemps 2020. Les frontières des pays ont été extraites de la base de données *Natural Earth* ([naturalearthdata.com](https://www.naturalearthdata.com)).

Nous avons donc priorisé l'étude de l'effet des saisons sur l'influence des éoliennes sur l'activité acoustique des chiroptères (Objectif 1). Pour ce faire, plusieurs types de données ont été mobilisés (Figure 4), dont certains n'ont pas été obtenus dans le cadre de ce projet. Tout d'abord, nous avons mobilisé des données d'activité acoustique des chauves-souris enregistrée au niveau de haies à l'aide d'enregistreurs acoustique passifs Song Meter SM4Bat FS associés à des microphones omnidirectionnels SMM-U2 (Wildlife Acoustics, Inc., Concord, MA, USA). L'activité acoustique est ici définie comme le nombre total de contacts par nuit, un contact étant une séquence de 5 secondes comportant un ou plusieurs cris d'écholocation. Les cris d'écholocation ont été détectés et assignés à un taxon de façon automatique à l'aide du logiciel TADARIDA. Les analyses détaillées ci-

après ont été réalisées pour trois taxons : la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Sérotine commune (*Cnephaeus serotinus*) ainsi que le groupe des Noctules (*Nyctalus* spp.). Les caractéristiques (garde au sol, hauteur de mât et diamètre du rotor) et données de fonctionnement des éoliennes (vitesse de rotation en bout de pales) ont été fournies par les opérateurs des éoliennes échantillonnées et moyennées à l'échelle de la nuit. Deux variables renseignant la structure et la composition du paysage ont également été calculées : la distance du site d'enregistrement au plan d'eau le plus proche, calculée à partir de la BD Topage®, ainsi que le linéaire total de haies dans un rayon de 1500 mètres autour du site d'enregistrement, calculée à partir de la BA Haie. Enfin, nous avons calculé à partir des données de Météociel (<https://www.meteociel.fr/>) la température moyenne au cours de la nuit, les précipitations moyennes, la vitesse de vent moyenne ainsi que la direction principale du vent.

Certaines étapes de l'approche méthodologique ont nécessité un temps bien plus important qu'anticipé lors de la soumission du projet (Figure 4). La très grande hétérogénéité dans le format des données de fonctionnement des éoliennes ainsi qu'un certain nombre d'incohérences dans les données de leur emplacement, par exemple, ont entraîné la mise en œuvre de nombreuses opérations de correction et de vérification. D'autres étapes ont, elles, exigé une mise à jour voire un développement méthodologique. Ainsi, la méthode de calcul de l'angle du vent dominant (et les variables associées) a été actualisée (amélioration de la prise en compte du caractère circulaire de l'angle dans le calcul, utilisation d'une fonction de calcul sous R plus récente), de même que la méthode de calcul de l'angle entre l'axe Nord – éolienne et l'axe éolienne – site d'enregistrement (utilisation d'une fonction de calcul sous R plus récente). Enfin, suite aux discussions développées plus avant quant aux limites de la modélisation de l'effet de sillage envisagée, diverses variables visant à identifier des situations de cumul d'effet de sillage ont été calculées (*e.g.*, différence de distance entre le site et les trois éoliennes les plus proches, différence d'angle d'incidence avec les trois éoliennes les plus proches).

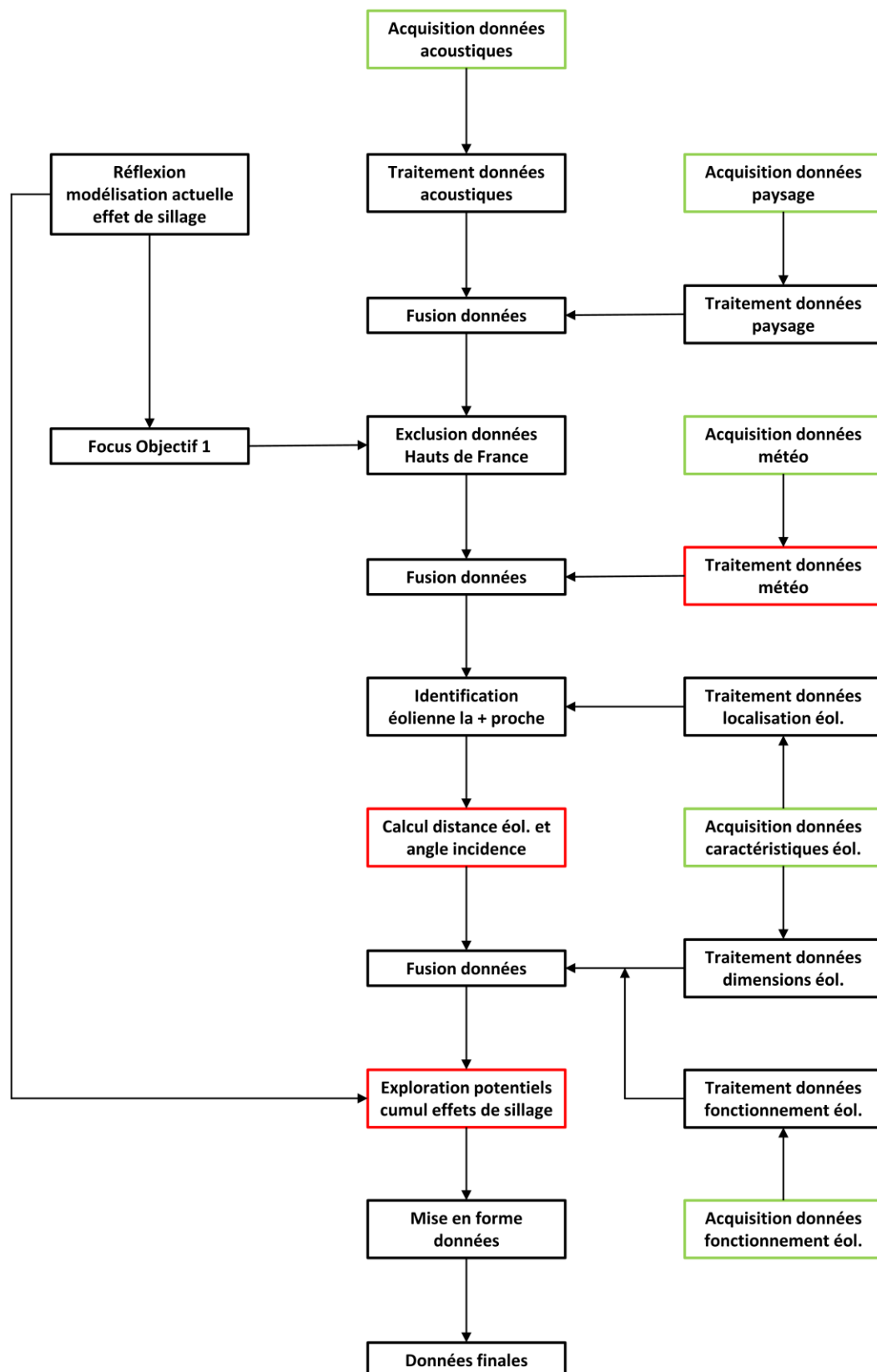


**Figure 4** : Workflow des opérations effectuées afin d’obtenir les données pour répondre à l’Objectif 1. Les opérations d’acquisition des différentes sources de données utilisées sont représentées en vert et les opérations qui ont nécessité un développement méthodologique en rouge.

Pour répondre à l'objectif 1 (comparaison des réponses des chiroptères entre saisons), nous avons recoupé les jeux de données de façon à ne conserver que les sites échantillonnés à la fois au printemps et à l'automne. Ainsi, les jeux de données à notre disposition pour répondre à cet objectif contiennent 116 sites d'enregistrement dont l'échantillonnage acoustique a été réalisé à la fois au printemps (du 27 mai au 30 juin) et à l'automne (du 28 août au 8 octobre) 2020 et pour lesquels des données de fonctionnement de l'éolienne la plus proche ont pu être récupérées. Ces sites ont été positionnés au niveau de haies le long d'un gradient de distance aux éoliennes les plus proches ( $n = 55$ ) (min = 23,2 m ; max = 1479,1 m) ainsi que le long d'un gradient d'angle d'incidence du vent (angle entre la direction principale du vent et l'axe éolienne – site d'échantillonnage) (Figure 6). Pour chacun des 18 parcs éoliens échantillonnés dans l'ouest de la France, les sites ont été échantillonnés de manière simultanée et pendant plusieurs nuits consécutives (printemps :  $\mu = 2,2$  nuits par site; automne :  $\mu = 3,1$ ) (Figure 5).

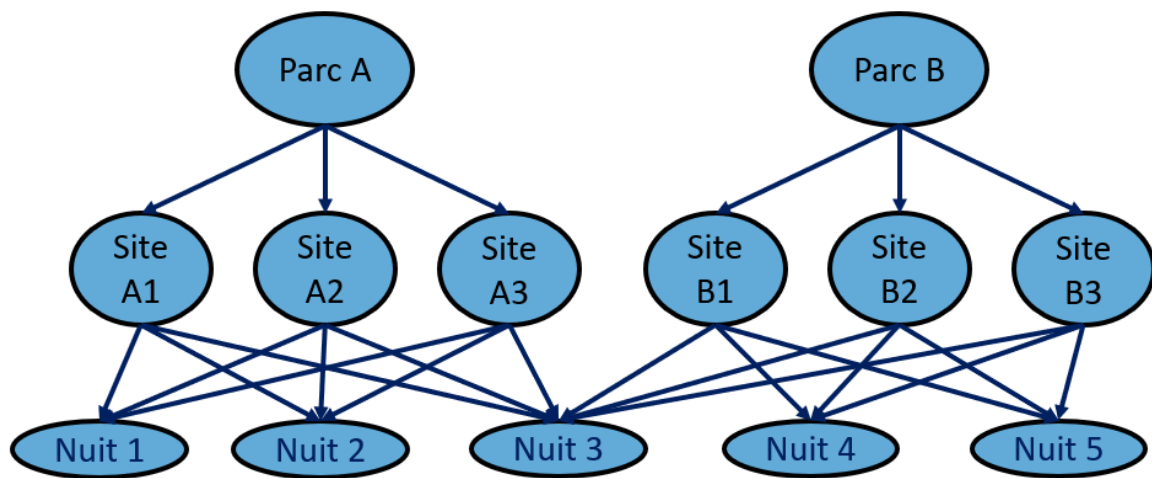


**Figure 5** : Représentation schématique de la structure hiérarchique de l'échantillonnage.

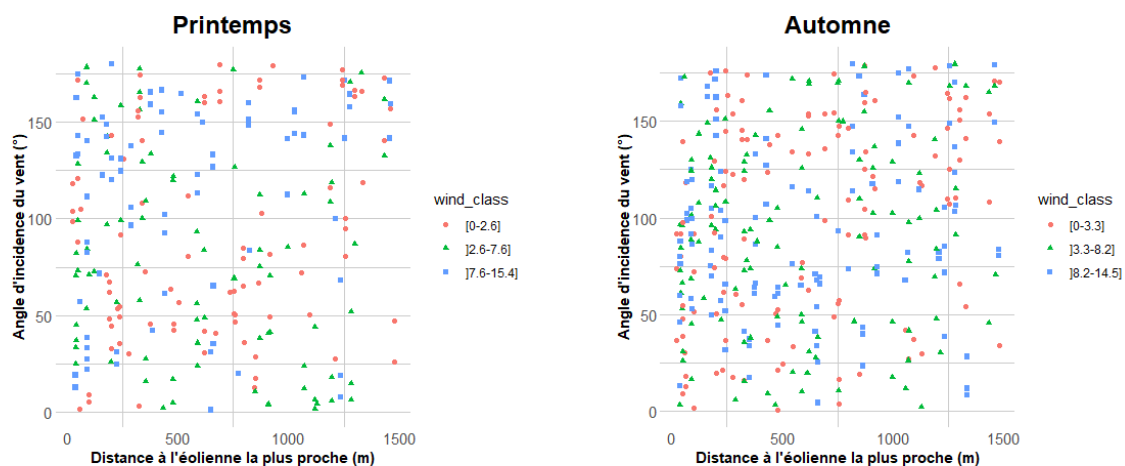


**Figure 6** : Distance du site d'échantillonnage à l'éolienne la plus proche et angle d'incidence du vent (angle entre la direction principale du vent et l'axe éolienne – site d'enregistrement) pour les 608

observations sur les 116 sites d'enregistrement échantillonnés dans l'ouest de la France (gauche : 253 observations au printemps ; automne : 355 observations à l'automne) selon trois classes de vent moyen durant la nuit (en  $\text{km.h}^{-1}$ ).

Afin de répondre au premier objectif tout en évitant de modéliser un trop grand nombre d'interactions entre variables ainsi qu'une interaction d'ordre 4, la modélisation de l'activité acoustique de chaque taxon a été réalisée pour chacune des deux saisons séparément de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Activité} \sim & \log(\text{WT\_distance}) + \text{wind\_incidence\_angle} + \text{blade\_rotation\_speed} + \\ & \log(\text{WT\_distance}):\text{wind\_incidence\_angle} + \log(\text{WT\_distance}):\text{blade\_rotation\_speed} + \\ & \text{wind\_incidence\_angle}:\text{blade\_rotation\_speed} + \\ & \log(\text{WT\_distance}):\text{wind\_incidence\_angle}:\text{blade\_rotation\_speed} + \text{rotor\_diameter} + \\ & \text{ground\_clearance} + \text{mean\_wind\_speed} + \text{mean\_temperature} + \text{mean\_precipitation} + \\ & \log(\text{distance\_to\_nearest\_water\_body}) + \text{hedgerows\_length\_1500 m} + (1|\text{site}) + (1|\text{night}) \end{aligned}$$

**(Equation 1)**

Afin d'explorer l'Objectif 3 (effet de l'ancienneté des parcs sur les réponses des chiroptères aux éoliennes), le modèle présenté ci-dessus (Equation 1) a également été ajusté sur deux sous-jeux de données différents au printemps pour *P. pipistrellus* : le premier intégrant les parcs mis en service le plus récemment et le second les parcs les plus vieux.

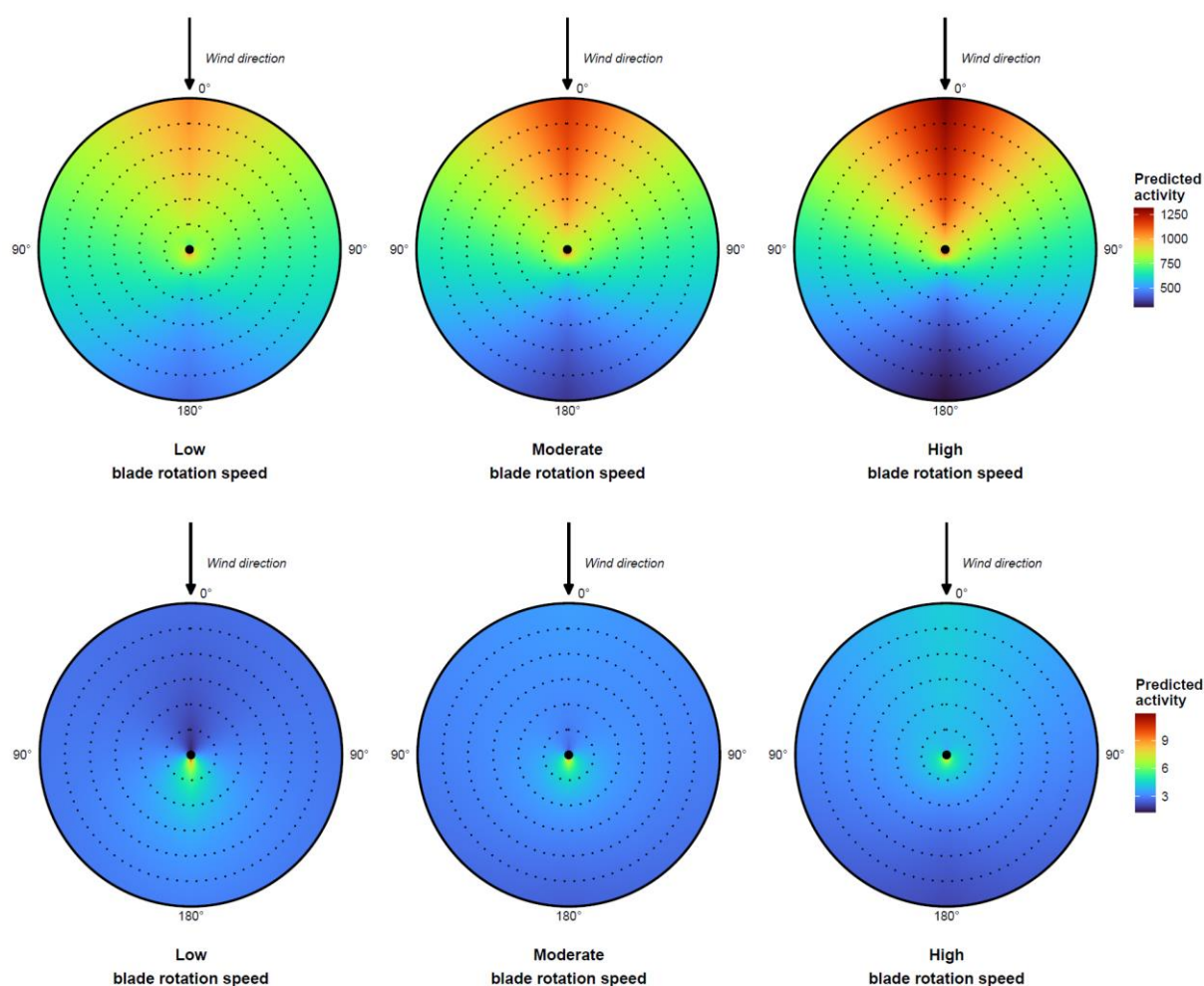


**Figure 7 :** Activité prédite (en nombre de contacts de chauves-souris par nuit) de *P. pipistrellus* (en haut) et *C. serotinus* (en bas) au printemps autour d'une éolienne fictive (point noir central) en fonction de la distance à l'éolienne (25 à 1499 mètres), de l'angle d'incidence du vent (0 ° à 180 °) et de la vitesse de rotation des pales (faible = premier quartile, modérée = médiane, élevée = troisième quartile). L'activité prédite a été calculée en maintenant toutes les autres variables (garde au sol, diamètre du rotor, distance au plan d'eau le plus proche, longueur des haies, température moyenne, précipitations moyennes et vitesse moyenne du vent) constantes à leurs valeurs moyennes. Attention, les effets non-significatifs sont également représentés.

Nous avons constaté un effet négatif significatif de l'angle d'incidence du vent et de son interaction avec la vitesse de rotation des pales sur l'activité de *P. pipistrellus* au printemps, ce qui se traduit par une activité réduite sous le vent par rapport à l'autre côté de l'éolienne, et un pattern de répartition de l'activité plus prononcé pour des vitesses de rotation des pales plus élevées (Figure 7). Une interaction quasi-significative entre l'angle d'incidence du vent et la distance à l'éolienne la plus proche a également été observée au cours de cette saison, avec une augmentation marginale de l'activité sous le vent et à proximité immédiate de l'éolienne chez cette espèce (Figure 7). Enfin, nous avons détecté un effet négatif significatif de l'interaction entre l'angle d'incidence du vent et la vitesse de rotation des pales sur l'activité de *C. serotinus* au printemps, ce qui se traduit par une augmentation marginale de l'activité sous le vent par rapport à l'autre côté de l'éolienne dans des conditions de faible vitesse de rotation des pales, tandis que le pattern inverse a été observé pour des vitesses de rotation élevées (Figure 7). Cependant, l'augmentation de l'activité sous le vent et à proximité immédiate de l'éolienne (Figure 7), en particulier pour de faibles vitesses de rotation des pales, n'était pas significative.

Nous avons observé un effet positif de la garde au sol et négatif de la vitesse de rotation des pales sur l'activité des Noctules au printemps. L'augmentation de la vitesse de rotation des pales était également associée à une réduction des niveaux d'activité de ce taxon à l'automne. Enfin, le diamètre du rotor avait un effet négatif sur l'activité de *P. pipistrellus* au printemps.

L'activité de *C. serotinus* au printemps et celle de *P. pipistrellus* et *Nyctalus* spp. à l'automne étaient influencées positivement par la température moyenne et négativement par les précipitations moyennes. Enfin, l'augmentation de la température moyenne et la réduction de la vitesse moyenne du vent étaient associées à une augmentation de l'activité de *C. serotinus* à l'automne. Les variables paysagères n'ont pas eu d'influence significative sur l'activité des chauves-souris dans aucun des six cas étudiés.

Une réponse de l'activité de *P. pipistrellus* à l'effet de sillage a été détectée au printemps à la fois pour les éoliennes les plus récentes comme pour les plus anciennes.

Les chiroptères répondent donc en général plus aux caractéristiques et au fonctionnement des éoliennes au printemps qu'à l'automne, y compris à l'effet de sillage. Les variables météorologiques, elles, semblent avoir une plus grande influence sur l'activité des chauves-souris à l'automne. Ainsi, ces résultats semblent indiquer une variation des facteurs écologiques limitants pour les chiroptères d'une saison à l'autre, la météo étant le facteur d'influence principal à l'automne tandis que les chiroptères se montrent beaucoup plus sensibles aux éoliennes en période de parturition.

### **III.2 Description des travaux menés et des résultats scientifiques obtenus à l'attention du grand public**

#### **III.2.1 Introduction (environ 300 caractères, espaces inclus)**

*Ceci pourra être utilisé dans la fiche résultat du projet. La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour publication sur ses plateformes. Vous serez consulté avant la publication. Ces éléments étant destinés au grand public, veillez à rédiger ce texte dans une optique de vulgarisation.*

Le projet Chiro-Eolhab visait à étudier les réponses comportementales d'attraction et d'évitement des chauves-souris face aux éoliennes et plus spécifiquement leurs variations selon le contexte paysager ainsi que selon la période de l'année. Il visait également à évaluer si les chauves-souris s'habituent ou non à la présence des éoliennes au cours du temps.

#### **III.2.2 Méthode et approches utilisées pour le projet (environ 700 caractères, espaces inclus)**

*Ceci pourra être utilisé dans la fiche résultat du projet. La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour publication sur ses plateformes. Vous serez consulté avant la publication. Ces éléments étant destinés au grand public, veillez à rédiger ce texte dans une optique de vulgarisation.*

Pour répondre aux objectifs du projet, nous avons mobilisé les données issues d'un protocole de suivi acoustique des chauves-souris autour de parcs éoliens faisant varier la distance des enregistreurs aux éoliennes et leur exposition à l'angle d'incidence du vent, qui permettent d'estimer l'effet de sillage des éoliennes. Ce protocole a été réalisé à deux périodes de l'année (printemps et automne) sur les mêmes sites d'enregistrement. Les données récoltées ont été analysées à l'aide de méthodes statistiques.

### **III.3 Accès aux données**

Décrivez les données et/ou les bases de données créées ou ajoutées au cours du projet, ainsi que les éléments de votre plan de gestion des données :

- (a) les types de données collectées et utilisées
  - Les fichiers de sorties de TADARIDA basés sur les données acoustiques
  - Les données météorologiques issues de la base de données « météociel » (rafales, précipitations, températures, vitesse et orientation du vent)
  - Les données paysagères (milieux, éléments paysagers)
  - Les données relatives aux caractéristiques des éoliennes (dimensions, emplacement, année de mise en service, modèle)
  - Les données relatives au fonctionnement des éoliennes (nombre de rotations par minute moyen à l'échelle de plages temporelles de 10 minutes)
- (b) les normes utilisées pour documenter les données (si applicable)
- (c) la politique d'accès et de réutilisation, de stockage et de gestion à court et à long terme
  - Les données seront mises en libre accès une fois que le(s) article(s) associé(s) auront été publié(s), que ce soit dans le cadre de Chiro-Eolhab ou des potentielles suites de ce projet.
  - Les données acoustiques sont stockées à la fois sur l'IN2P3 à travers Tadarida et sur des disques durs. Les fichiers d'identification associés seront eux stockés sur le serveur de données R&D d'Auddicé.
- (d) les personnes à contacter après la fin du projet

Les personnes à contacter après la fin du projet seront les porteurs du projet, à savoir Christian Kerbiriou ([christian.kerbiriou@mnhn.fr](mailto:christian.kerbiriou@mnhn.fr)) et Camille Leroux ([camille.leroux@auddice.com](mailto:camille.leroux@auddice.com)), ainsi que Fabien Verniest, post-doctorant sur le projet ([fabien.verniest@mnhn.fr](mailto:fabien.verniest@mnhn.fr)).

### III.4 Résultats et valorisations scientifiques du projet

- Liste de TOUTES les publications (articles, livres, chapitres de livres...) publiées, soumises ou prévues (avec les dates de soumission prévues).
  - Verniest, F., Barré, K., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., & Leroux, C. Seasonal variations in bat responses to wind turbines and associated wake effect. Soumission envisagée en début d'année 2026 dans le journal *Biological Conservation*.
- Liste des communications orales et des posters présentés lors de conférences, passées ou prévues (veuillez indiquer les dates de ces conférences).
  - Verniest, F., Barré, K., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., & Leroux, C. (2025). Un projet pour étudier les déterminants temporels et paysagers de la réponse des chiroptères aux éoliennes. *Premières rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité*, 12–13 mai, Paris, France.
  - Verniest, F., Barré, K., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., & Leroux, C. (2025). Temporal and landscape drivers of bat responses to the wake effect. *Conference on Wind energy and Wildlife impacts*, 8–12 septembre, Montpellier, France.
- Autres résultats (bases de données, logiciels, code R, sites web, etc.).

La base de données finale ainsi que les scripts R mobilisés pour les analyses statistiques seront mis à disposition en Open Access lors de la publication de l'étude dans un journal scientifique.
- Liste des propositions de subventions soumises ou prévues (avec les dates prévues pour la soumission).

Comme évoqué plus haut, Auddicé, le CESCO et l'IFPEN travaillent ensemble pour monter un projet qui permettrait à terme de (1) mieux intégrer l'effet de sillage dans nos processus de modélisation écologique et (2) de construire un outil opérationnel permettant de simuler les impacts du sillage sur les chiroptères en amont des projets de développement éolien (outil d'aide à la planification) et lors du développement du projet (étude d'impact pouvant aider à ajuster le positionnement des éoliennes à échelle fine – micro-sitting). Nous travaillons avec l'OFB pour un financement qui nous permettrait de travailler sur le sujet en fin d'année. L'ADEME étant également vivement intéressée par ce sujet, nous pourrions également envisager une soumission du projet au prochain APRED au besoin.

## IV. Principales conclusions (publiables)

---

### **Principales conclusions (environ 1000 caractères, espaces inclus) à l'attention du grand public**

*Mettez en évidence les résultats à l'aide d'illustrations (graphique, carte, image, etc.) et faites-nous connaître sa signification. Ceci sera utilisé dans la fiche résultat du projet. La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour publication sur ses plateformes. Vous serez consulté avant la publication. Ces éléments étant destinés au grand public, veillez à rédiger ce texte dans une optique de vulgarisation.*

Nous avons mis en évidence le rôle prépondérant de la période de l'année dans les réponses des chauves-souris aux éoliennes. Ainsi, si certaines espèces semblent éviter les turbulences engendrées par la rotation des pales des éoliennes, et plus généralement être affectées par les dimensions et le fonctionnement de ces structures au printemps, les réponses des chauves-souris à la proximité d'éoliennes sont bien moins marquées à l'automne. Les conditions météorologiques, en revanche, semblent jouer un rôle plus important à l'automne qu'au printemps dans l'activité des chauves-souris. Aucun effet de la date de mise en service de l'éolienne la plus proche sur les réponses des chauves-souris n'a été mis en évidence.

## V. Impacts des résultats

---

### **Impact pour la science, la société et la décision publique et privée (environ 1500 caractères, espaces inclus) à l'attention du grand public**

*Ceci sera utilisé dans la fiche résultat du projet. La FRB se réserve le droit de modifier le texte pour publication sur ses plateformes. Vous serez consulté avant la publication. Ces éléments étant destinés au grand public, veillez à rédiger ce texte dans une optique de vulgarisation.*

Les variations de réponses selon la saison permettront d'affiner les mesures de réduction, potentiellement à travers les plans de bridage des éoliennes. Les résultats de cette étude permettront ainsi une meilleure prise en compte des chiroptères dans les projets éoliens, et une amélioration de l'étape de réduction de la séquence ERC. Enfin, les développements méthodologiques, notamment ceux relatifs à la modélisation de l'effet de sillage, pourront bénéficier à la recherche académique menée en biologie de la conservation, y compris sur d'autres taxons tels que l'avifaune par exemple.

## VI. Activités de sensibilisation et de diffusion auprès des porteurs d'enjeux (le cas échéant)

---

*La FRB encourage fortement la diffusion des résultats auprès de divers acteurs non académiques, y compris les décideurs politiques. Les résultats des projets de recherche peuvent être diffusés et valorisés de différentes manières et par différents canaux : publications, conférences scientifiques, posters ou synthèses scientifiques (cf. section III), mais aussi via des sites internet, des synthèses pour les décideurs politiques, des articles dans divers médias, des conférences impliquant des acteurs non académiques, des systèmes d'aide à la décision, des bases de données, etc.*

- Veuillez décrire les activités de diffusion et de transfert de connaissances qui ont été menées à l'attention des décideurs politiques, des gestionnaires, des acteurs socio-économiques (ou de toute autre partie prenante) en rapport avec le projet.

Un poster a été présenté lors des Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité à Paris en mai 2025. Les résultats du projet ont également été présentés lors de la « Conference on Wind energy and Wildlife impacts » (CWW) en septembre 2025 à travers une présentation orale. Ces deux événements rassemblent, outre des membres de la communauté scientifique, de nombreux autres acteurs, y compris des bureaux d'études,

développeurs éoliens et services instructeurs. Nous envisageons par ailleurs de présenter ces résultats dans les cadres suivants :

- Groupe de Travail EnR de l'Union Professionnelle du Génie Ecologique (à l'attention des bureaux d'études)
- Lors d'un séminaire de France Renouvelables (à l'attention des développeurs éoliens)
- Intégrer ces résultats à la formation de l'Office Français de la Biodiversité ayant lieu en fin d'année 2025 « Eco-conception des parcs éoliens terrestres : prise en compte des chiroptères » (Christian Kerbirou et Camille Leroux étant formateurs), touchant ainsi les services instructeurs (en plus des bureaux d'études et développeurs éoliens)

En complément de ces cinq canaux de diffusion, les résultats pourront éventuellement être communiqués :

- A travers le webinaire SolEoBio, organisé par l'OFB et à destination des services instructeurs
  - Une seconde fois avec l'ensemble des résultats lors des prochaines Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité
- Faites-nous part de tout article de presse, interview, projet éducatif, etc. en rapport avec la recherche menée dans le cadre du projet.  
La publication des résultats de cette étude dans un journal scientifique pourra également être accompagnée d'un communiqué de presse à destination des médias d'information généralistes.
  - Existe-t-il des outils de gestion ou de prise de décision qui ont été développés à la suite du projet (par exemple, conception/mise en œuvre d'indicateurs de biodiversité) ?  
Aucun outil n'a été développé pour le moment mais nous montons actuellement un projet ayant pour vocation notamment de produire un outil d'aide à la décision (sous réserve de financement).
  - Existe-t-il des activités planifiées (ou qui pourraient être planifiées) pour étendre l'utilisation ou l'application des résultats ?  
Voir rubriques précédentes.

## VII Prochaines étapes

*Des actions sont-elles prévues à la suite du projet ? Avez-vous soumis des propositions résultant des travaux menés dans le cadre de ce projet pour des travaux ultérieurs ? Si oui, avez-vous obtenu gain de cause ? En cas de recrutement de post-doctorant, quel est son statut actuel ?*

Comme mentionné précédemment, nous travaillons actuellement sur une suite du projet en collaboration avec l'IFPEN afin d'améliorer la modélisation du sillage.

Le post-doctorant recruté est toujours en poste jusqu'au 31/01/2026 et poursuit la valorisation scientifique des analyses du projet Chiro-Eolhab.

## VIII Commentaires sur la réalisation du projet

*Veuillez commenter les aspects pratiques, les difficultés rencontrées, les questions particulières liées à la gestion des données, etc.*

Comme évoqué dans la section III.1, nous avons rencontré des difficultés liées à la modélisation de l'effet de sillage, notamment en tenant compte de certains facteurs comme la rugosité du paysage qui influence l'écoulement du vent en amont de l'éolienne. Nous avons souhaité améliorer notre compréhension de ce phénomène de mécanique des fluides en prenant contact avec des spécialistes dans le domaine (IFPEN) afin de pouvoir bien connaître les limites ainsi que les tenants et aboutissants

de notre modélisation actuelle et éventuellement de l'améliorer, selon le temps disponible, avant d'initier les analyses relatives aux Objectifs 2 et 3 (influence du paysage et de l'âge des parcs sur l'effet des éoliennes sur les chiroptères).

Comme mentionné plus avant, les analyses visant à répondre à l'Objectif 1 (influence de la saison sur l'effet des éoliennes sur les chiroptères) ont été retardées du fait, notamment, de la multiplicité des opérations de traitement des données visant à identifier et corriger des problèmes d'hétérogénéité et d'incohérence dans certains jeux de données mobilisés, ainsi que de l'actualisation et le développement de nouvelles opérations. Les analyses statistiques ont cependant été consolidées en fin de projet. Par ailleurs, l'investissement en temps sur la base de données sera bénéfique à de futurs projets de recherche dont un directement lié à Chiro-Eolhab et en cours de montage avec l'OFB. Il pourra alimenter également d'autres questions de recherche liées à l'étude de l'effet de sillage sur d'autres taxons (insectes, avifaune dont passereaux, etc.).