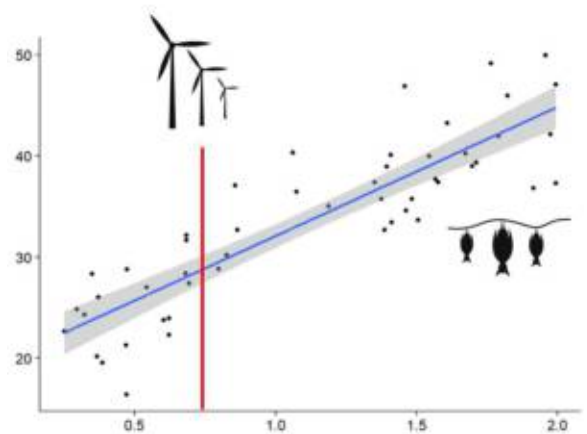




Ecofirst

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

Impact des éoliennes sur le développement des colonies de grand murin (*Myotis myotis*) en Europe



Rapport final

 Fondation
Roi Baudouin
Agir ensemble pour une société meilleure

 Un vent
de nature.

Données administratives

Étude et rapport réalisés par

Ecofirst SC

Société coopérative

BE 0692.806.959

www.ecofirst.eu

Adresse postale : Grand-Rue 12 - 6870 Awenne

Personnes de contact pour ce dossier :

Pierrette NYSSSEN +32 473 265 264 pierrette.nyssen@ecofirst.eu

Jean-François GODEAU +32 472 94 48 47 jf.godeau@ecofirst.eu



en collaboration avec

CSD Ingénieurs Conseils S.A.

Société anonyme

BE 0432.892.291

www.csdingenieurs.be

Adresse postale : Avenue Prince de Liège 72 - 5100 Namur

Personnes de contact pour ce dossier :

Arnaud BECKERS +32 498 05 14 86 a.beckers@csdingenieurs.be

Julien OTOUL +32 492 76 20 65 j.otoul@csdingenieurs.be



pour le compte de

Fondation Roi Baudouin

Rue Brederode 21

1000 Bruxelles

<https://kbs-frb.be/>

Gestionnaire du dossier :

Cédric VANNESTE +32 25 49 02 65 vanneste.c@kbs-frb.be



Fonds Un vent de nature

Gestionnaire du dossier :

Augustin Rommelaere, Corentin Hautot, Lorenz Leissens,

Nicolas Kinnaer



Information sur le rapport final

Rédaction et mise en page : Pierrette NYSSSEN, Estelle DOUMONT, Jean-François GODEAU, Louis CASIER, Louise DE NEYER, Nikyta VAN DEN ABBEEL, Arnaud BECKERS

Relecture : Julien OTOUL

Date de finalisation du rapport : 03/04/2026

Référence : Nyssen, P., Doumont, E., Godeau, J.-F., Casier L., De Neyer, L., Van Den Abbeel N. et Beckers A. (2026). Impact des éoliennes sur le développement des colonies de grand murin (*Myotis myotis*) en Europe, Rapport final, mars 2026, Ecofirst et CSD Ingénieurs.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Données administratives | 2 |
| Remerciements | 6 |
| Résumé | 8 |
| Summary | 9 |
| 1. Introduction | 11 |
| 1.1. Contexte..... | 11 |
| 1.2. Questions de recherche et objectifs..... | 12 |
| 1.2.1. Benchmarking sur l'état de santé du grand murin en Europe, sa sensibilité à l'éolien et les menaces qui pèsent sur l'espèce..... | 12 |
| 1.2.2. Analyse de la dynamique des populations de grand murin au regard du développement éolien à l'échelle locale..... | 12 |
| 1.2.3. Analyse complémentaire sur l'effet de la modification de l'occupation du sol sur les dynamiques de population..... | 13 |
| 1.3. Statut de protection du grand murin..... | 13 |
| 1.4. Structure du rapport..... | 14 |
| 2. Méthode | 16 |
| 2.1. Zone d'étude..... | 16 |
| 2.2. État des lieux sur l'état de santé des populations nord-européennes du grand murin, la sensibilité à l'éolien et sur les menaces identifiées dans les différentes régions..... | 17 |
| 2.2.1. Sources d'information..... | 17 |
| 2.2.2. "État de conservation"..... | 17 |
| 2.2.3. "Listes Rouges"..... | 19 |
| 2.2.4. Tendances..... | 20 |
| 2.2.5. Guides sur la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens.... | 20 |
| 2.2.6. Présentation des résultats..... | 20 |
| 2.3. Analyse de l'impact des éoliennes sur un échantillon de colonies de grand murin à travers la zone d'étude..... | 21 |
| 2.3.1. Recherche et collecte de données sur les colonies de grand murin..... | 21 |
| 2.3.2. Recherche et collecte de données sur la position et la date de mise en service des éoliennes..... | 23 |
| 2.3.3. Exploration et sélection des données pertinentes..... | 26 |
| 2.3.4. Questions posées et approche statistique pour y répondre..... | 33 |
| 2.4. Analyses supplémentaires - Étude temporelle des changements d'occupation du sol. 37 | |
| 2.4.1. Sélection des variables environnementales..... | 37 |
| 2.4.2. Sélection des colonies..... | 38 |
| 2.4.3. Analyses statistiques et construction des modèles..... | 38 |
| 3. Résultats | 42 |
| 3.1. État des lieux sur l'état de santé des populations nord-européennes du grand murin, la sensibilité à l'éolien et sur les menaces identifiées dans les différentes régions..... | 42 |
| 3.1.1. États de conservation..... | 42 |
| 3.1.2. Listes Rouges..... | 43 |
| 3.1.3. Tendances..... | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.4. Synthèse..... | 44 |
| 3.1.5. Sensibilité à l'éolien et menaces..... | 46 |
| 3.2. Analyse de l'impact des éoliennes sur un échantillon de colonies de grand murin à travers la zone d'étude..... | 49 |
| 3.2.1. Analyses statistiques..... | 49 |
| 3.3. Analyse supplémentaire - Étude temporelle des changements d'occupation du sol. | 57 |
| 3.3.1. Modèle Binomial - Évaluation des effets singuliers des variables..... | 57 |
| 3.3.2. ACP - Vérification du lien entre l'urbanisation et la perte des habitats agricoles.. | 58 |
| 3.3.3. Conclusions et interprétation écologique..... | 61 |
| 4. Discussion et conclusion..... | 63 |
| 5. Bibliographie..... | 69 |
| Annexe 1..... | 74 |

Remerciements

Cette étude n'aurait pas été possible sans la collaboration d'un grand nombre de personnes impliquées bénévolement et/ou professionnellement dans le suivi des populations de grand murin à travers l'Europe. Nous tenons à les remercier chaleureusement pour la rigueur du suivi mené, ainsi que pour avoir accepté de partager les données en leur possession avec nous. Les structures (ou personnes) qui ont collaboré sont citées ci-dessous pour chaque pays ou région pour lesquelles il a été possible d'obtenir des données.

Belgique

- Wallonie : SPW/DEMNA et collaborateurs
- Flandre : pas de colonie connue, merci à Daan Dekeukeleire pour l'information

Grand duché de Luxembourg : Musée National d'Histoire Naturelle du Luxembourg (MNHN)

France

- Aisne, Oise et Somme : Picardie Nature
- Alsace : BDD GEPMA
- Bourgogne : Société d'histoire naturelle d'Autun - Observatoire de la faune de Bourgogne (SHNA-OFAB)
- Centre-Val-de-Loire : Chauve-qui-Peut / L. Arthur
- Franche-Comté : Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères en Franche-Comté
- Ile de France : Azimut 230, PNR du Vexin Français, PNR de la Haute Vallée de Chevreuse, CEN île de France
- Languedoc-Roussillon : Groupe Chiroptères Languedoc Roussillon, ALEPE, Office National des Forêts, NATURALIA, Musée National d'Histoire Naturelle, Parc National des Cévennes et collaborateurs
- Limousin : Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin
- Lorraine : Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères en Lorraine
- Midi-Pyrénées : Conservatoire d'espaces naturels d'Occitanie - Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées (CEN Occitanie- GCMP).
- Nord - Pas-de-Calais : Coordination mammalogique du nord de la France
- Pays de la Loire : CPIE Vallées de la Sarthe et du Loir, MNE, CPIE Mayenne
- Poitou-Charentes : Charente Nature, Vienne Nature
- Rhone-Alpes : Groupe Chiroptères de la LPO AuRA - 2025

Allemagne

- Berlin : pas de colonie connue
- Bremen : pas de colonie connue, merci à Tasso Schikore et Lothar Bach pour l'information

- Hamburg : pas de colonie connue, merci au groupe Fledermausschutz du NABU-Hamburg pour l'information
- Niedersachsen : Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Karsten Passior
- Rheinland-Pfalz : Guido Pfalzer + Claudia Weber, Ralf Hellwig, Christian Jungmann
- Schleswig-Holstein : pas de colonie connue, merci à Stefan Lüders, Ulrich Lensinger et au groupe Fledermausschutz du NABU-Schleswig-Holstein pour l'information.

Suisse : Info Species - centre suisse d'informations sur les espèces

Tchéquie : Tomáš Bartonička (Masaryk University | Faculty of Science Department of Botany and Zoology / Vertebrate Research Group)

Nous remercions également le Fonds Un Vent de Nature d'avoir accepté de financer ce projet de recherche.

Résumé

Cette étude vise à analyser les impacts potentiels du développement éolien sur les populations de grand murin (*Myotis myotis*). À ce jour, la mortalité directe liée aux éoliennes, par collision ou barotraumatisme, apparaît extrêmement faible, voire négligeable pour cette espèce. En revanche, la question des effets indirects, notamment via des phénomènes d'effarouchement susceptibles d'entraîner une perte d'habitats de chasse, reste ouverte. Notre approche de cette question est de déterminer si de tels effets supposés peuvent influencer la dynamique des populations, en affectant leur état de santé, leur reproduction ou leur survie. Afin d'y répondre, l'étude s'articule autour de cinq questions de recherche regroupées en trois volets complémentaires.

Le premier volet consiste en un benchmarking sur l'état de santé du grand murin en Europe, sa sensibilité à l'éolien et les menaces qui pèsent sur cette espèce. Il montre que le grand murin présente un statut de conservation variable mais généralement défavorable à l'échelle des régions étudiées. Dans la majorité des pays, l'espèce n'est pas considérée comme un facteur particulièrement limitant pour le développement éolien. Les guides d'évaluation environnementale analysés indiquent une faible sensibilité du grand murin au risque de mortalité. Les guides allemands renseignent en plus un impact possible par effarouchement sur les sites de repos, les sites de reproduction et les habitats de chasse. C'est en Wallonie que l'enjeu pour cette espèce est considéré comme le plus marqué.

Le deuxième volet analyse la dynamique des populations de grand murin en lien avec le développement éolien local, sur la base de séries temporelles de colonies de reproduction dans 6 pays européens couplées à des données spatialisées sur les éoliennes. Les résultats issus de modèles statistiques mettent en évidence une augmentation significative des effectifs au cours du temps, indépendamment du nombre d'éoliennes présentes à proximité. L'interaction entre le temps et la densité de turbines n'est pas significative, indiquant l'absence d'effet mesurable des éoliennes sur la dynamique des colonies. Les analyses comparant les situations avant et après implantation d'éoliennes confirment ces résultats : aucune modification significative des tendances n'est observée, et les variations détectées restent faibles et non corrélées au nombre de turbines.

Le troisième volet explore l'influence des changements d'occupation du sol sur les dynamiques de population. Il met en évidence un effet significatif des transformations paysagères, avec un impact négatif différé de l'urbanisation et, à l'inverse, un effet positif différé associé aux milieux agricoles et pâturés sur la probabilité de croissance des colonies. Ces deux effets reflètent un processus unique, la conversion progressive des terres agricoles en zones urbanisées.

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que le développement éolien ne constitue pas un facteur explicatif majeur des variations de populations de grand murin à l'échelle européenne. La dynamique globalement favorable s'explique par le retour progressif de l'espèce après son déclin historique massif au milieu du XX^{ème} siècle. Les différences de tendance observées entre colonies semblent davantage influencées par d'autres facteurs que la présence d'éoliennes, tels que l'occupation du sol, soulignant l'importance des enjeux liés à la qualité et à la disponibilité des habitats dans la conservation de l'espèce.

Summary

This study aims to analyse the potential impacts of wind farm development on populations of the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*). At the moment, direct mortality linked to wind turbines, whether through collision or barotrauma, appears to be extremely low, or even negligible, for this species. However, the question of indirect effects, particularly through disturbance and avoidance phenomena that may lead to a loss of hunting habitats, remains open. Our approach to this issue is to determine whether such presumed effects can influence population dynamics by affecting their health, reproduction or survival. To address this, the study is structured around five research questions grouped into three complementary sections.

The first section consists of a benchmarking study on the conservation status of the greater mouse-eared bat in Europe, its sensitivity to wind power, and the threats facing the species. It shows that the greater mouse-eared bat has a variable but generally unfavourable conservation status across the regions studied. In most countries, the species is not considered a particularly limiting factor for wind energy development. The environmental assessment guidelines analysed indicate that the greater mouse-eared bat is not highly sensitive to the risk of mortality. The German guidelines also highlight a potential impact through disturbance at roosting sites, breeding sites and hunting habitats. It is in Wallonia that the challenge for this species is most pronounced.

The second section analyses the population dynamics of the greater mouse-eared bat in relation to local wind farm development, based on time series of breeding colonies in six European countries combined with spatial data on wind turbines. The results from statistical models highlight a significant increase in population numbers over time, regardless of the number of wind turbines in the vicinity. The interaction between time and turbine density is not significant, indicating that wind turbines have no measurable effect on population trends. Analyses comparing situations before and after the installation of wind turbines confirm these results: no significant change in trends is observed, and the variations detected remain small and uncorrelated with the number of turbines.

The third section explores the influence of land-use changes on population dynamics. It highlights a significant effect of landscape transformations, with a delayed negative impact from urbanisation and, conversely, a delayed positive effect associated with agricultural and grazed areas on the probability of colony growth. These two effects reflect a single process: the gradual conversion of agricultural land into urbanised areas.

Overall, the results indicate that wind farm development is not a major factor explaining variations in the populations of the greater mouse-eared bat at the European level. The global positive trend can be explained by the species' gradual recovery following its massive historical decline in the mid-20th century. The differences in trends observed between colonies appear to be influenced more by factors other than the presence of wind turbines, such as land use, highlighting the importance of issues relating to habitat quality and availability in the conservation of the species.



Partie 1 : Introduction

1. Introduction

1.1. Contexte

Le fonds « Un Vent de Nature » a été créé par l'asbl Un Vent de Nature, qui a pour objet la mise en place de projets d'aménagement en faveur de la biodiversité sur le territoire wallon et l'évolution de l'état des connaissances sur les relations entre l'éolien et la biodiversité. Elle a été constituée à l'initiative du secteur éolien wallon dont la très grande majorité est membre (Aspiravi, Elicio, Eneco, Engie, Enovos, Eoly, Luminus, Renner Energies Belgium, RESCoop, RPC, Storm, Total Energie, Ventis, Wattelse).

Dans la poursuite de son premier objectif **“étudier l'interaction entre le secteur éolien et la biodiversité”**, le Fonds lance annuellement un appel à projets via la Fondation Roi Baudouin. C'est dans ce contexte qu'un appel à candidatures a été émis pour la réalisation d'une étude sur le sujet de l'impact de l'éolien sur la faune volante, à réaliser durant la saison 2025. Ecofirst et CSD Ingénieurs se sont associés pour proposer une étude qui s'inscrit dans le contexte de **l'analyse des impacts potentiels du développement éolien sur les populations de grand murin (*Myotis myotis*)**. En effet, le sujet de l'impact des éoliennes sur le grand murin est important pour le développement éolien en Wallonie, car cette espèce, listée en annexe II de la Directive “Habitats” Natura 2000, bénéficie de beaucoup d'attention de la part des administrations en charge de la délivrance (ou non) des permis. Mieux définir le réel enjeu pour cette espèce et apporter des réponses scientifiques à ces questions est donc un facteur clé pour avancer dans la transition énergétique en Région wallonne.

Les connaissances de l'espèce, issues de la littérature ainsi que des travaux récents effectués sous l'égide du Service Public de Wallonie et de “Un Vent de Nature” indiquent que **la problématique des collisions et barotraumatismes est probablement très faible, voire inexistante**. En effet, les travaux de Dürr (Dürr, 2026) montrent qu'il y a 9 cas de mortalité avérée pour le grand murin sur 13.547 cadavres de chauves-souris recensés en Europe (soit moins de 0.07%). **Il est par contre pertinent de s'interroger sur les effets d'effarouchement potentiels** des parcs éoliens sur cette espèce de chauves-souris, s'ils causaient des pertes d'habitat, **en termes de sites de chasse ou d'aires propices aux colonies**. Diverses études montrent que de tels effets existent sur certaines espèces de chiroptères (Barré et al., 2018; Ellerbrok et al., 2024; Gaultier et al., 2023), mais dans le cas du grand murin, on est en droit de s'interroger sur l'existence de tels effets partant du principe que les parcs éoliens sont généralement installés loin de ses territoires de chasse. Nous avons donc voulu répondre à la question **“Ce phénomène, s'il existe, a-t-il des conséquences sur la santé des populations et l'état des individus, leur capacité à se reproduire, leur taux de survie ?”**.

Pour ce faire, nous avons travaillé à l'échelle de l'Europe continentale et tempérée en rassemblant des données de suivi à long terme de colonies, dans des conditions variées, pour étudier l'impact des éoliennes sur la démographie des colonies connues de grand murin, en lien avec le développement éolien local.

1.2. Questions de recherche et objectifs

Cette étude vise à répondre à 5 questions de recherche sur le grand murin, rassemblées en trois volets bien distincts.

1.2.1. Benchmarking sur l'état de santé du grand murin en Europe, sa sensibilité à l'éolien et les menaces qui pèsent sur l'espèce

Les questions de recherches étudiées dans ce volet sont les suivantes :

- **Question 1 : quel est le statut du grand murin en Europe ?**
- **Question 2 : comment cette espèce est-elle considérée dans le développement éolien en Europe et quelles menaces pèsent sur elle ?**

→ Voir points 2.2. (Méthode) et 3.1. (Résultats)

L'objectif de cette partie est de réaliser une analyse sous forme de benchmarking de la prise en compte du grand murin dans le développement éolien dans les différents pays d'Europe, afin de remettre cette préoccupation dans un cadre plus large que la Wallonie, d'avoir un aperçu de la situation en Europe et de comparer les pratiques dans les différents pays. Nous avons porté notre attention sur les sous-questions suivantes :

- Quelle attention est donnée dans chaque pays à cette espèce dans les EIE ?
- Comment les paramètres de bridage sont-ils adaptés à cette espèce (le cas échéant) ?
- Quelle importance est-elle donnée au grand murin dans la législation ou les recommandations en matière d'éolien ?

Nous nous sommes également penchés sur les paramètres démographiques des populations calculées aux échelles nationales ou régionales (pays, département ou région (FR), land (DE), zone biogéographique, etc). Nous avons en particulier recherché des informations sur les tendances, sur les états de conservation évalués dans le cadre des rapportages successifs des États membres de l'Union Européenne liés à l'article 17 de la Directive "Habitats" Natura 2000, disponibles à minima à l'échelle des zones biogéographiques de chaque pays, ou encore le statut de l'espèce dans les différentes Listes Rouges.

1.2.2. Analyse de la dynamique des populations de grand murin au regard du développement éolien à l'échelle locale

Les questions de recherche étudiées dans ce volet sont les suivantes :

- **Question 3 : la présence d'éoliennes a-t-elle une influence sur les colonies de grand murin (effectif et tendances) ?**
- **Question 4 : les tendances des colonies changent-elles une fois que des éoliennes sont construites à proximité ?**

→ Voir points 2.3. (Méthode) et 3.2. (Résultats)

Pour répondre à ces questions, l'objectif est de rassembler des données détaillées sur la dynamique d'un nombre significatif de colonies de grands murins à travers l'Europe, qu'elles soient proches de parcs éoliens ou non (comparaison cas vs témoin) pour évaluer les tendances de populations au regard du développement éolien.

Nous avons donc cherché à obtenir des séries temporelles aussi longues que possible pour chaque colonie, pour analyser les tendances en fonction de variables environnementales, en particulier la présence d'éoliennes en exploitation autour de la colonie, couplée à leur date de construction.

En parallèle, nous avons rassemblé un maximum d'informations sur les éoliennes présentes (ou non) autour des colonies de grands murins (rayon de 10 km). Pour cela, nous avons inventorié les éoliennes dans l'ensemble des pays concernés.

Une cartographie des parcs éoliens a été produite, avec comme attribut au minimum l'année de construction, le nombre de turbines et pour certains parcs le modèle d'éolienne et la hauteur du rotor.

1.2.3. Analyse complémentaire sur l'effet de la modification de l'occupation du sol sur les dynamiques de population

La question de recherche étudiée dans ce volet est :

- **Question 5 : l'évolution temporelle de l'occupation du sol explique-t-elle les tendances de populations ?**

→ Voir points 2.4. (Méthode) et 3.3. (Résultats)

Nous avons voulu aussi tester si des changements globaux au cours du temps pouvaient jouer un rôle sur les tendances de populations étudiées. Une analyse complémentaire est effectuée afin de mesurer l'impact des modifications d'occupation du sol au cours du temps sur les populations de grand murin.

1.3. Statut de protection du grand murin

Pour rappel, en Wallonie, le grand murin est une espèce protégée par :

- la loi sur la conservation de la nature (1973) ;
- la Directive "Habitats" (92/43/CEE) (annexes II -désignation de zones spéciales de conservation- et IVa -espèces d'intérêt communautaire nécessitant une protection stricte-), que les États-membres doivent transposer dans leur législation nationale (Directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, 1992) ;
- la convention de Berne sur la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (annexe II) (hors Autriche) (Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, 1979) ;
- l'accord "Eurobats" - Convention de Bonn sur la conservation des populations de chauves-souris européennes (hors Autriche) (Accord du 4 décembre 1991 relatif à la conservation des populations de chauves-souris d'Europe, 1991).

1.4. Structure du rapport

Le rapport est structuré en quatre parties. Après cette première partie introductive, la partie 2 présente les méthodes utilisées, la partie 3 les résultats et la partie 4 la discussion et la conclusion. Chaque partie est structurée sur base des 3 volets décrits plus haut : (1) état de santé et sensibilité à l'éolien; (2) analyse de la dynamique des populations au regard du développement éolien; (3) analyse complémentaire sur l'effet de la modification de l'occupation du sol sur les dynamiques de population.



Partie 2 : Méthode

2. Méthode

2.1. Zone d'étude

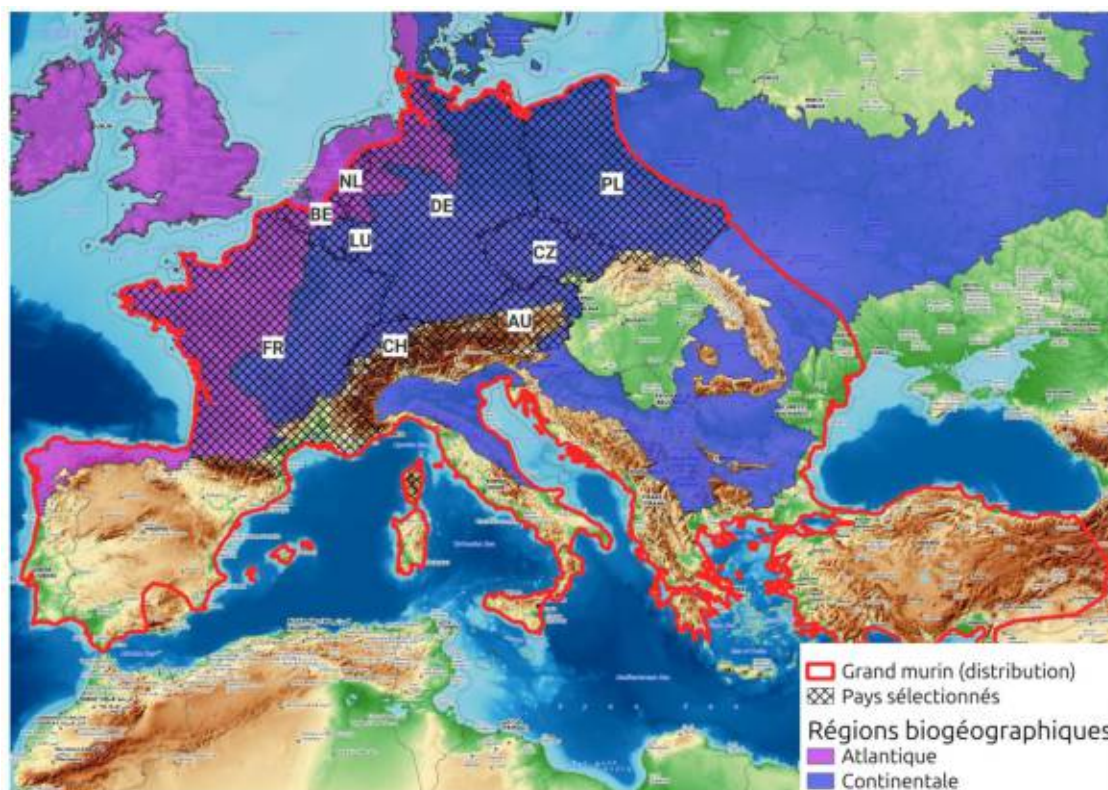


Figure 1 : Répartition du grand murin d'après l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2016. Source : *Myotis myotis*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-2.

La zone d'étude a été définie comme l'ensemble des pays d'Europe, où le grand murin se reproduit. Pour des raisons de comparabilité des climats, nous avons restreint notre zone de recherche aux régions biogéographiques atlantique et continentale (figure 1). Ces critères, combinés, ont mené à une définition de la zone d'étude qui comprend les pays suivants :

- France : tout le territoire de la France, excepté la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (sud-est) et la Corse ;
- Belgique ;
- Grand-Duché de Luxembourg ;
- Pays-Bas ;
- Allemagne ;
- Suisse : bien qu'une partie de la Suisse ne soit pas en région continentale, nous avons gardé l'ensemble du territoire par facilité ;
- Autriche : bien qu'une partie de l'Autriche ne soit pas en région continentale, nous avons gardé l'ensemble du territoire par facilité ;
- République Tchèque ;
- Pologne.

2.2. État des lieux sur l'état de santé des populations nord-européennes du grand murin, la sensibilité à l'éolien et sur les menaces identifiées dans les différentes régions

Pour rappel, les questions de recherche étudiées dans ce volet sont les suivantes :

- **Question 1 : quel est le statut du grand murin en Europe ?**
- **Question 2 : comment cette espèce est-elle considérée dans le développement éolien en Europe et quelles menaces pèsent sur elle ?**

2.2.1. Sources d'information

L'analyse repose sur un ensemble de sources institutionnelles et scientifiques permettant de rassembler des informations comparables entre pays. Les données collectées concernent principalement :

- le statut Liste Rouge du grand murin à l'échelle nationale ou régionale afin de situer le niveau de menace perçu pour l'espèce dans chaque pays ;
- l'état de conservation issu du rapportage Article 17 de la Directive Habitats (Directive 92/43/CEE) (hors Suisse), incluant les évaluations de l'aire de répartition, de la taille de la population, des habitats de l'espèce et des perspectives futures ;
- la tendance des populations ;
- la prise en compte du grand murin dans les projets éoliens, documentée via les guides nationaux/régionaux et les recommandations spécifiques ;
- les principales menaces identifiées pour l'espèce dans chaque pays (pressions anthropiques, altération des habitats, dérangements, infrastructures, etc.), à partir des sources mentionnées plus haut.

Concernant les listes rouges et l'état de conservation, nous avons rassemblé les évaluations disponibles les plus récentes pour chaque pays ou région. Un décalage de plusieurs années peut exister entre ces évaluations.

2.2.2. "État de conservation"

Selon l'article 17 de la Directive « Habitats » (92/43/CEE), les États-membres de l'Union Européenne sont tenus d'établir un rapport sur l'état de conservation des espèces listées à l'annexe II de cette Directive, dont le grand murin fait partie. Les états de conservation sont évalués par région biogéographique et ont pour objectif d'évaluer si l'espèce est dans un état "favorable". **L'état de conservation favorable** est l'objectif global à atteindre pour tous les types d'habitats et toutes les espèces d'intérêt communautaire (c'est-à-dire les habitats et les espèces énumérés aux annexes I, II, IV et V de la Directive) ; il est défini à l'article 1er de la Directive « Habitats ». Il peut être décrit simplement comme une **situation dans laquelle un type d'habitat ou une espèce se porte bien (tant en termes de qualité que d'étendue/de population) et a de bonnes perspectives de continuer ainsi à l'avenir**. L'objectif de l'état de conservation de la directive est défini en termes positifs, orienté vers une situation favorable, qui doit être définie, atteinte et maintenue. Il vise donc bien plus que la simple prévention des extinctions (European Topic Centre on Biological Diversity, s. d.).

Quatre classes ont été définies pour évaluer l'état de conservation (European Topic Centre on Biological Diversity, 2014) :

- Favorable (FV)
- Défavorable - inadéquat (U1)
- Défavorable - mauvais (U2)
- Inconnu (XX)

Les critères utilisés pour caractériser l'état de conservation sont présentés au tableau 1.

| Parameter | Conservation Status | | | |
|---|---|-----------------------------------|---|--|
| | Favourable ('green') | Unfavourable-Inadequate ('amber') | Unfavourable-Bad ('red') | Unknown (insufficient information to make an assessment) |
| Range (within the biogeographical region concerned) | Stable (loss and expansion in balance) or increasing <u>AND</u> not smaller than the 'favourable reference range' | Any other combination | Large decline: Equivalent to a loss of more than 1% per year within period specified by MS <u>OR</u> more than 10% below favourable reference range | No or insufficient reliable information available |
| Population | Population(s) not lower than 'favourable reference population' <u>AND</u> reproduction, mortality and age structure not deviating from normal (if data available) | Any other combination | Large decline: Equivalent to a loss of more than 1% per year (indicative value MS may deviate from if duly justified) within period specified by MS <u>AND</u> below 'favourable reference population' <u>OR</u> More than 25% below favourable reference population <u>OR</u> Reproduction, mortality and age structure strongly deviating from normal (if data available) | No or insufficient reliable information available |
| Habitat for the species | Area of habitat is sufficiently large (and stable or increasing) <u>AND</u> habitat quality is suitable for the long-term survival of the species | Any other combination | Area of habitat is clearly not sufficiently large to ensure the long-term survival of the species <u>OR</u> Habitat quality is bad, clearly not allowing long-term survival of the species | No or insufficient reliable information available |
| Future prospects (as regards to population, range and habitat availability) | Main pressures and threats to the species not significant; species will remain viable on the long-term | Any other combination | Severe influence of pressures and threats to the species; very bad prospects for its future, long-term viability at risk. | No or insufficient reliable information available |

Tableau 1 : Matrice d'évaluation de l'état de conservation d'une espèce ou d'un habitat à l'échelle d'une région biogéographique d'un État membre (European Topic Centre on Biological Diversity, s. d.).

L'évaluation est aussi réalisée à l'échelle de l'Union Européenne, sur base de la part relative des régions au sein desquelles l'espèce/l'habitat est dans un état de conservation jugé favorable (tableau 2).

| If... | ... the habitat/non-bird species is considered... |
|---|---|
| The proportion of a habitat/non-bird species reported as 'unfavourable-bad' is greater than or equal to 25% | Unfavourable-Bad |
| The proportion of a habitat/non-bird species reported as 'favourable' is greater than or equal to 75% | Favourable |
| The proportion of a habitat/non-bird species reported as 'unknown' is greater than or equal to 25% | Unknown |
| Any other combination applies | Unfavourable-Inadequate |

Tableau 2 : Critères de classification de l'état de conservation des habitats et des espèces non-oiseaux à l'échelle de l'Union européenne (European Topic Centre on Biological Diversity, s. d.).

La dernière évaluation publiée à l'échelle européenne est celle de la période 2013-2018. La majorité des pays étudiés disposent d'une plus grande partie de territoire en région continentale qu'en région atlantique. Les Pays-Bas ne sont couverts que par la région atlantique, qui est également la région dominante en France.

2.2.3. "Listes Rouges"

Le principe premier des Listes Rouges réalisées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) est d'évaluer le risque d'extinction d'une espèce à l'échelle mondiale. Les critères développés dans ce cadre peuvent aussi être appliqués à une échelle géographique plus petite : continentale, nationale ou régionale. Dans ces cas, les catégories de la Liste Rouge de l'UICN reflètent le risque d'extinction des espèces étudiées à l'échelle géographique concernée. Les différentes catégories sont illustrées à la figure suivante.

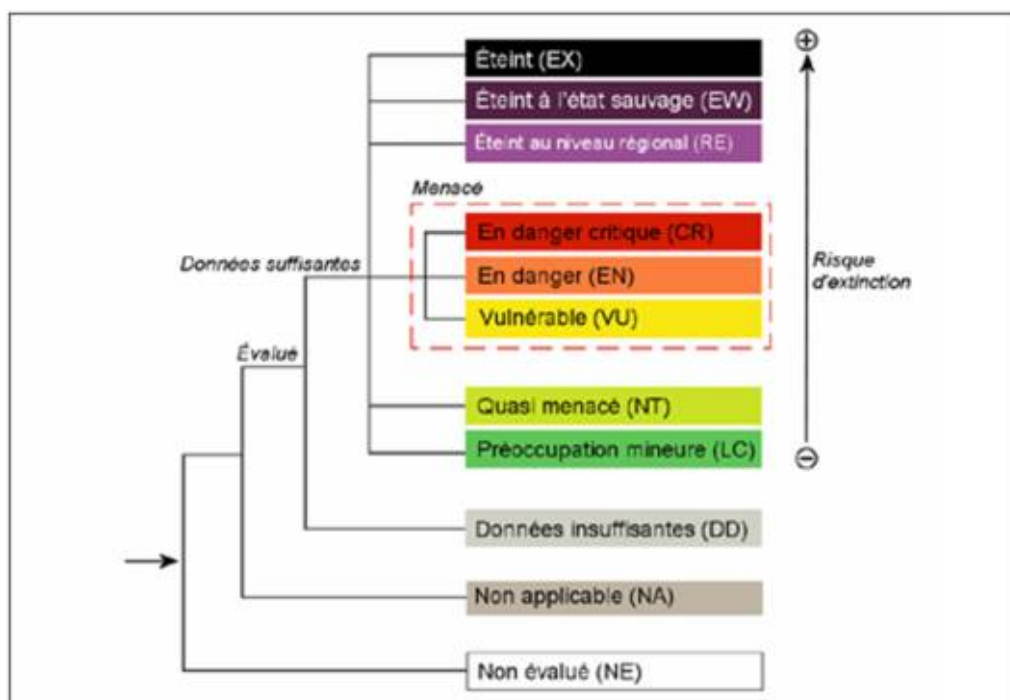


Figure 2 : structure des catégories des listes rouges de l'UICN à l'échelle régionale (UICN, 2012).

Les principaux critères permettant de classer les espèces dans l'une ou l'autre catégorie sont la tendance démographique (seuils de réduction de la population depuis 10 ans ou 3 générations de > 30, > 50, > 75 ou > 90 %), la répartition géographique (seuils à 10, 500, 2.000, 5.000, 20.000 km²), la taille de la population (seuils à 50, 250, 2.500, 10.000 individus matures). L'articulation de ces critères est décrite en détail dans UICN (2012).

2.2.4. Tendances

Les données sur les tendances ont été trouvées dans les Listes Rouges ou dans des sources nationales complémentaires (programmes de suivi, rapports institutionnels).

2.2.5. Guides sur la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens

Ces informations ont en partie été récoltées lors d'une précédente étude portant notamment sur l'analyse des paramètres de bridage dans différents pays (Doumont et al., 2026). Au total, 28 guides régionaux ou nationaux ont été consultés (voir bibliographie). Pour chaque pays, il a été noté :

- si l'espèce est explicitement prise en compte dans la planification ou l'évaluation environnementale des parcs éoliens (oui/non),
- le cas échéant, de quelle manière : mesures d'évitement, mesures de bridage spécifiques, protocoles d'inventaires renforcés, niveaux de sensibilité attribués, recommandations de suivi, etc.

2.2.6. Présentation des résultats

Un état des lieux synthétique a été réalisé pour les pays inclus dans la zone d'étude. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux, afin de permettre une lecture transversale et d'identifier rapidement les convergences et divergences entre pays en matière de statut, tendances, menaces et prise en compte de l'espèce dans le contexte éolien.

2.3. Analyse de l'impact des éoliennes sur un échantillon de colonies de grand murin à travers la zone d'étude

2.3.1. Recherche et collecte de données sur les colonies de grand murin

La collecte de données a été menée différemment selon les pays concernés. Nous avons tout d'abord développé un visuel (en français et en anglais) expliquant notre projet d'étude, les données recherchées et la démarche (voir figure 3).

Etude sur l'impact des éoliennes sur le développement des colonies de grand murin (*Myotis myotis*) en Europe

Demande de collaboration

But de l'étude : évaluer les tendances de populations de grand murin (sur base des effectifs des colonies de reproduction) en lien avec le développement éolien – **méta-analyse**

Facteurs testés : différence de tendance entre colonies proches / éloignées de parcs éoliens, différence de tendance avant / après installation des éoliennes

Notre demande : données sur les colonies de reproduction de grand murin (*Myotis myotis*)

- localisation (la plus précise possible), en zones biogéographiques continentale et atlantique
- date (les plus longues séries temporelles possible)
- effectif (global, adultes / juvéniles)

Les données récoltées seront gardées confidentielles et ne serviront que pour l'étude concernée. Aucune information détaillée ne sera incluse dans les résultats de l'étude.



Un tout grand merci !

Les résultats seront partagés avec la communauté

Contacts et questions :
 Arnaud Beckers a.beckers@csgivingieurs.be
 Pierrette Nyssen pierrette.nyssen@ecofirst.eu

CSDINGENIEURS+ INGÉNIEURS PAR NATURE **Ecofirst**

Study on the impact of wind turbines on the development of breeding colonies of the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*) in Europe

Request for collaboration

Aim of the study: assess population trends of the greater mouse-eared bat (based on breeding colony headcounts) in relation to wind farm development - **meta-analysis**

Factors tested: difference in trend between colonies near / far from wind farms, difference in trend before / after wind turbines establishment

Our need: data on breeding colonies of the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*)

- location (as precise as possible), in continental and atlantic biogeographical areas
- date (the longest possible time series)
- numbers (overall, adults / juveniles)

We will keep the data collected confidential and use them only for this study. No detailed information will be included in the results of the study.



Many thanks!

The results will be shared with the community

Contact and questions :
 Arnaud Beckers a.beckers@csgivingieurs.be
 Pierrette Nyssen pierrette.nyssen@ecofirst.eu

CSDINGENIEURS+ INGÉNIEURS PAR NATURE **Ecofirst**

Figure 3 : visuel d'explication sur la demande de données grand murin.

Pour la Wallonie et la Suisse, une demande officielle de données a été réalisée par la voie administrative requise (Convention de Mise à Disposition de Données avec le DEMNA / SPW pour la Wallonie, Convention de mise à disposition des données avec Info Species pour la Suisse). Pour le Grand-Duché de Luxembourg, les données ont été téléchargées depuis le portail de consultation des données du Musée National d'Histoire Naturelle. Des contacts directs avec des chiroptérologues locaux ont été réalisés pour la Flandre, les Pays-Bas, la Pologne, la République tchèque et l'Autriche. Pour la France, un contact a été pris avec les responsables de chaque groupe chiroptères au niveau régional, initialement selon la liste des contacts régionaux de la SFEPM (Société Française d'Étude et de Protection des Mammifères), puis par la suite avec d'autres interlocuteurs renseignés par les premiers contacts. Pour l'Allemagne, des contacts ont également été menés pour chaque Land, au départ des personnes identifiées comme contacts pour l'Allemagne dans Eurobats, mais aussi via l'association Nabu, les centres de baguage fédéraux ainsi que les administrations fédérales (BFA Fledermäuse et BFN). Souvent, les premiers contacts ont débouché sur un transfert vers d'autres personnes ou structures, sur un échange de questions / réponses par mail, la signature d'une convention de partage de données dans certains cas. Les contacts pris en République tchèque ont été suivis de réponses de deux responsables de la centralisation de données. Un des deux a cessé de donner suite aux échanges mais le second a finalement fourni un jeu de données très complet. Malgré plusieurs tentatives chez plusieurs interlocuteurs polonais et autrichiens, aucun n'a donné suite à la demande.

Suite à ces échanges, des jeux de données nous ont été envoyés pour certaines régions, dans des formats assez variés.

Dans certains cas, nous avons également fait face à un refus de transfert de données ou tout simplement à une absence de réponse.

Une première phase de nettoyage des données a consisté à rassembler toutes les données reçues et à ne garder qu'une partie des informations transmises :

- chaque colonie a été pourvue d'un identifiant unique
- la localisation (coordonnées X-Y) la plus précise possible a été conservée pour chaque colonie
- en matière de date, nous avons conservé uniquement l'année de comptage ; lorsque plusieurs comptages distincts étaient disponibles durant la saison de reproduction (entre le 1er mai et le 31 juillet), nous avons gardé l'effectif le plus élevé
- le nombre total d'individus ; en cas de distinction d'âge dans la base de données, l'effectif retenu a été obtenu en sommant les nombres d'individus adultes et juvéniles
- l'espèce : dans le sud-est de la France (région Auvergne-Rhône-Alpes), le grand murin (*Myotis myotis*) et le petit murin (*Myotis blythii*) sont en sympatrie et les colonies sont souvent mixtes, avec une difficulté importante pour les observateurs de donner des chiffres exacts par espèce. Étant donné que ces deux espèces ont a priori une sensibilité à l'éolien similaire, nous avons fait le choix de garder les effectifs des deux espèces pour notre étude (en sommant les nombres le cas échéant).

Une visualisation des données brutes reçues pour les différents pays est illustrée en annexe 1.

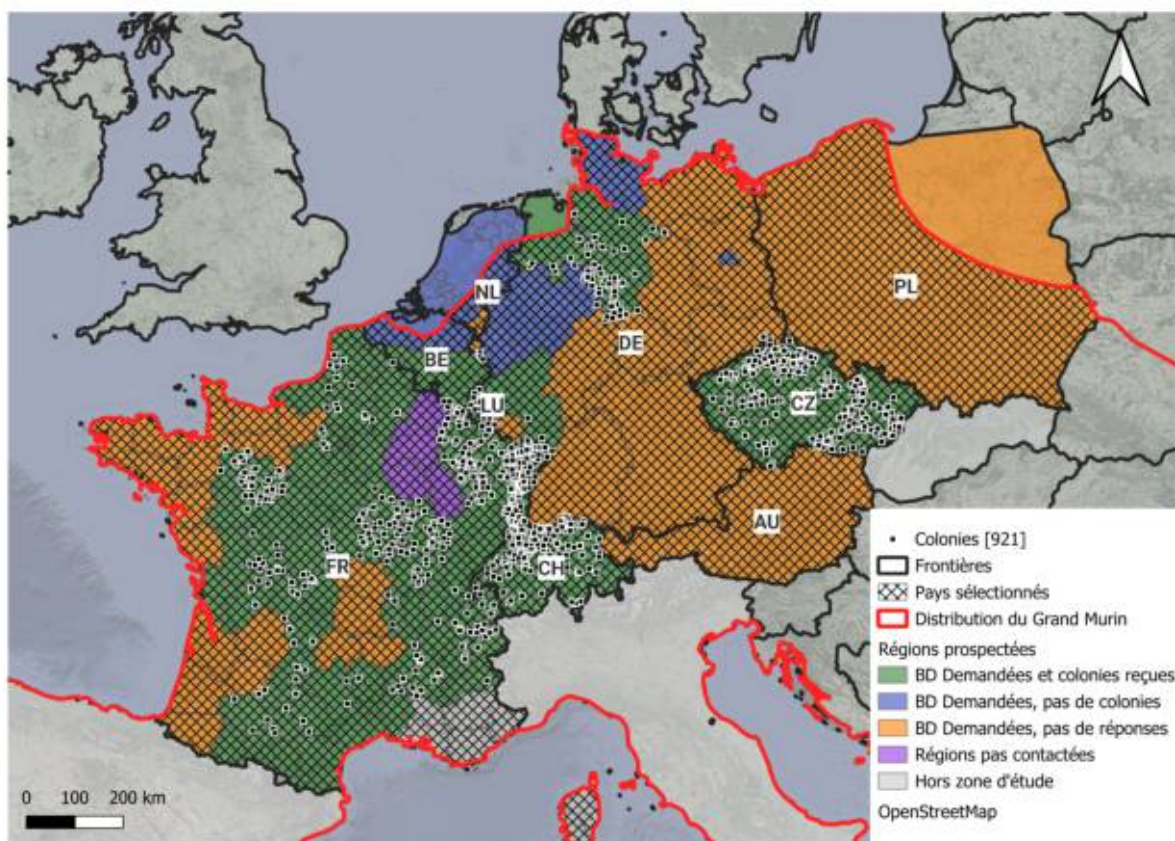


Figure 4 : Distribution des données brutes (colonies) obtenues selon les régions prospectées.

2.3.2. Recherche et collecte de données sur la position et la date de mise en service des éoliennes

Afin de rassembler les informations relatives à la localisation des éoliennes dans chacun des pays étudiés, ainsi que leur date de mise en service, une recherche approfondie a été menée à partir de plusieurs sources de données. L'objectif était d'obtenir une base de données aussi complète et actualisée que possible.

Pour chaque pays, différentes sources ont été consultées, incluant des bases de données institutionnelles nationales ou régionales, des plateformes cartographiques et une base de données privée spécialisées dans l'énergie éolienne (*The Wind Power*).

Au total, quatre sources de données principales ont été mobilisées, complétées par trois sources secondaires (tableau 3). Les bases de données nationales disponibles pour la Belgique, la France et la Suisse fournissent des informations à l'échelle des éoliennes individuelles, avec une précision géographique généralement élevée. À l'inverse, la base de données internationale *The Wind Power* renseigne principalement la localisation des parcs éoliens via leurs centres géographiques, ce qui implique une précision spatiale moindre pour l'emplacement exact de chaque éolienne.

| Source | Couverture géographique et temporelle (dernière mise à jour) | Forces | Faiblesses |
|---|--|---|--|
| The Wind Power | <ul style="list-style-type: none"> • Toute la zone d'étude • Couverture temporelle variable selon les pays | <ul style="list-style-type: none"> • Données uniformes et complètes • Grande couverture spatiale | <ul style="list-style-type: none"> • Faible précision géographique (uniquement le centroïde de chaque parc) • Données payantes |
| Openstreet map | <ul style="list-style-type: none"> • Toute la zone d'étude • Couverture temporelle variable selon les pays | <ul style="list-style-type: none"> • Grande couverture spatiale • Haute précision géographique (coordonnées de chaque éolienne) | <ul style="list-style-type: none"> • Données disparates / non officielles • Très peu d'informations complémentaires à la localisation, non standardisées |
| Informations internes de CSD | <ul style="list-style-type: none"> • Belgique • 1997 - 2025 (2025) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations robustes, vérifiées • Localisation exacte | <ul style="list-style-type: none"> • Certaines dates estimées • Couverture spatiale partielle |
| Portail géorisque https://www.georisques.gov.fr/donnees/bases-de-donnees/eolien-terrestre | <ul style="list-style-type: none"> • France • 1999 - 2025 (2025) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations officielles • Localisation exacte • Dates exactes | <ul style="list-style-type: none"> • Couverture spatiale partielle |
| Portail géographique Suisse data.geo.admin.ch | <ul style="list-style-type: none"> • Suisse • 2004 - 2023 (2024) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations officielles • Localisation exacte • Dates exactes | <ul style="list-style-type: none"> • Couverture spatiale partielle |
| Société Tchèque pour l'énergie éolienne https://www.csve.cz/instalace/instalace-v-cr/ | <ul style="list-style-type: none"> • République Tchèque • 1990 - 2023 (2024) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations officielles | <ul style="list-style-type: none"> • Faible précision géographique (centroïde de chaque parc) • Dates manquantes • Non exploitable cartographiquement directement |
| Géoregistre national hollandais https://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/home | <ul style="list-style-type: none"> • Pays-Bas • 1985 - 2024 (2025) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations officielles • Localisation exacte | <ul style="list-style-type: none"> • Dates manquantes • Couverture spatiale partielle |
| IG Windkraft https://www.igwindkraft.at/aktuelles/windrad-karte | <ul style="list-style-type: none"> • Autriche • 1994 - 2025 (2025) | <ul style="list-style-type: none"> • Informations officielles • Localisation exacte • Dates exactes | <ul style="list-style-type: none"> • Pas de possibilité de téléchargement des données |

Tableau 3 : Sources utilisées pour rechercher les informations relatives aux éoliennes

Plusieurs sources ont été combinées afin d'améliorer la fiabilité et la complétude des informations, les bases nationales étant privilégiées lorsque disponibles, en raison de leur caractère plus exhaustif et de leur meilleure précision spatiale. La base de données de *The Wind Power*, bien que non exhaustive, présente l'avantage de fournir la date de mise en service de l'éolienne.

La base de données finale comprend un total de 58.432 éoliennes. Le nombre d'éoliennes recensées varie fortement selon les pays, allant de 84 éoliennes pour le Grand-Duché de Luxembourg à 35.810 pour l'Allemagne.

La précision de la localisation et la complétude de la date de mise en service varient selon les bases de données, notamment celles de WindPower (Allemagne, Grand-Duché de Luxembourg, Pologne, République Tchèque, Pays-Bas, Autriche). Les taux de remplissage de ces données sont indiqués dans le tableau 4. Les bases de données montrent globalement un bon taux de remplissage concernant la date de mise en service. La base de données la moins complète sur ce point concerne la Pologne.

| Pays | Nombre d'éoliennes dans la base de données (hors construction en cours) | Coordonnées précises | Coordonnées approximatives | Date de mise en service |
|---------------------|---|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| Allemagne | 35.810 | 63 % | 37 % | 99 % |
| GD Luxembourg | 84 | 65 % | 35 % | 95 % |
| Pologne | 3.376 | 49 % | 51 % | 79 % |
| République Tchèque | 217 | 71 % | 29 % | 100 |
| Pays-Bas | 3.849 | 74 % | 26 % | 99 % |
| Autriche | 1.440 | 80 % | 20 % | 97 % |
| Belgique (Wallonie) | 617 | 100 % | 0 % | 100 % |
| Belgique (Flandre) | 751 | 100 % | 0 % | 100 % |
| France | 12.251 | 100 % | 0 % | 100 % |
| Suisse | 47 | 100 % | 0 % | 100 % |

Tableau 4 : Nombre d'éoliennes par pays, taux de coordonnées précises et taux de complétude de la date de mise en service dans les bases de données utilisées. Sources : CSD Ingénieurs, 2025; Confédération Suisse, 2024; Géorisques, 2025; The Wind Power, 2025.

En plus des éoliennes actuellement en exploitation, la base de données comprend aussi des éoliennes dont le statut est "en construction" ou "démantelée", ces dernières étant la plupart du temps remplacées par de nouvelles turbines. Dans les analyses qui suivent, ces parcs éoliens au statut particulier ont été vérifiés par échantillonnage rapide pour éviter de considérer des éoliennes qui n'existent plus ou pas encore.

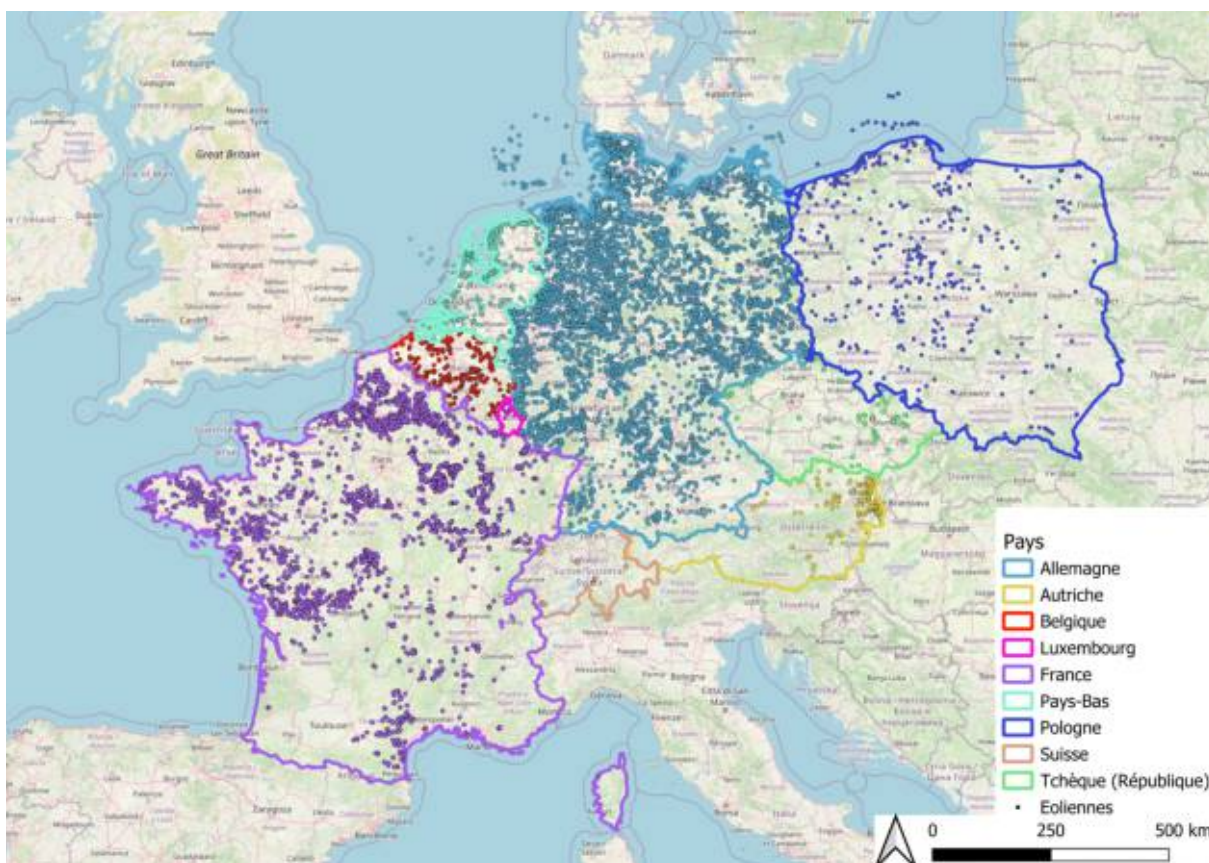


Figure 5 : Emplacement des parcs éoliens et éoliennes individuelles pris en compte dans le cadre de l'étude.
Sources : CSD Ingénieurs, 2025; Confédération Suisse, 2024; Géorisques, 2025; The Wind Power, 2025

En outre, nous avons vérifié la précision des centroïdes des parcs renseignés par WindPower avec 3 sources de données d'éoliennes différentes :

- Pour la Belgique, via des données internes à CSD Ingénieurs ;
- Pour la Suisse, via la confédération suisse ;
- Pour la France via le portail géorisque français.

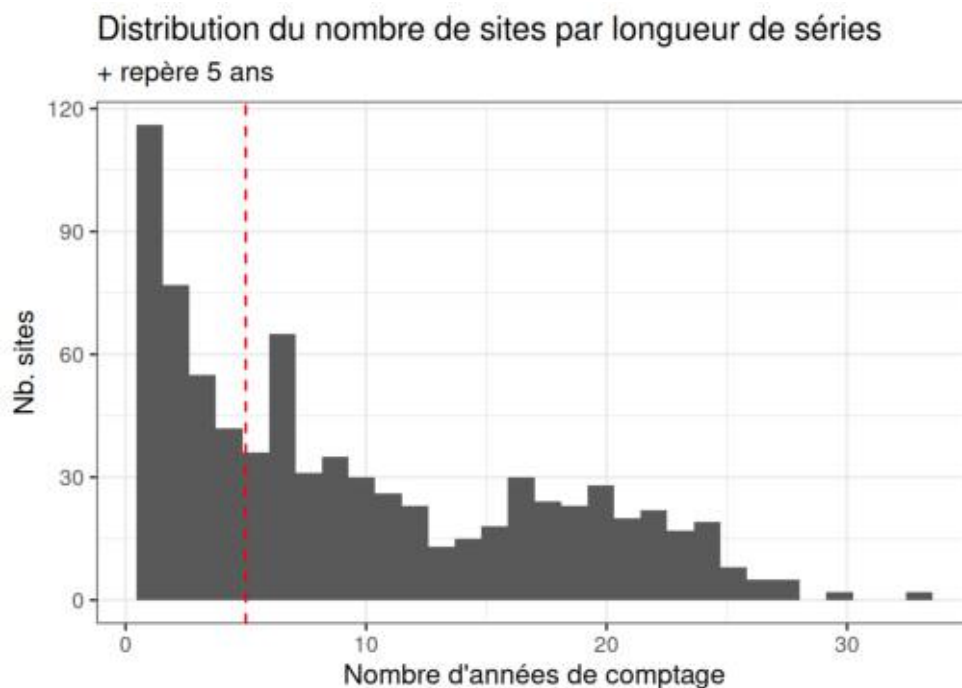
L'exploration de ces données a mis en évidence (i) que la majorité des centroïdes des parcs sont situés à moins de 2 km de l'éolienne la plus proche mais (ii) qu'une proportion de centroïdes de parcs était localisée de manière assez approximative, en particulier pour la France.

Ces observations nous permettent d'appuyer l'importance de considérer un rayon de 10 km autour des colonies, qui est d'une part représentatif du rayon de chasse de l'espèce et d'autre part permet d'intégrer la majeure partie de l'imprécision des données des parcs.

2.3.3. Exploration et sélection des données pertinentes

2.3.3.1. Sélection des données démographiques des colonies

Plusieurs étapes de sélection et de filtrage du jeu de données initial sont nécessaires car les données sont extrêmement hétérogènes. En effectuant plusieurs filtres scrupuleusement argumentés sur les données brutes, on réduit le volume initial de données, mais surtout son hétérogénéité.



Graphique 1 : Pour les données brutes - nombre de sites en fonction de la longueur des séries temporelles de comptages.

Les opérations de sélection suivantes ont donc été appliquées :

1. **Exclusion des comptages avec un nombre d'individus inférieur à 5.**

On peut difficilement considérer qu'une "colonie" soit constituée d'aussi peu d'individus. Il s'agit plutôt de quelques individus en estivage ou d'un cluster d'une autre colonie non-détectée (les comptages de plusieurs clusters d'un méta-colonie connue ont déjà été sommés s'ils possèdent le même ID).

2. **Utilisation des données postérieures à 1985.**

L'exploration des données de WindPower décrites plus loin dans ce document a révélé que les premières éoliennes construites datent de 1988, avec 2 parcs éoliens, puis 3 en 1989. D'autre part, les données de comptage en colonies "historiques" dataient des années 1960-70, donc très éloignées du jeu de données principal. Une brève analyse révèle que les comptages antérieurs à 1985 ne concernaient que 18 colonies, avec souvent seulement une donnée (une année de comptage) exclue et deux années de comptage dans deux cas. L'application de ce filtre a par contre éliminé une colonie pour laquelle 7 comptages étaient antérieurs à 1985.

3. **Élimination de séries temporelles de moins de 10 comptages**

Les analyses de séries temporelles sont d'autant plus fiables qu'elles reposent sur de longues séries. A contrario, on a beaucoup de colonies caractérisées par un assez faible nombre de comptages dans les données brutes. Si l'on conserve a minima 5 années de comptage, on conserve 61% des colonies (tableau 5 et graphique 2). Cela peut paraître drastique mais on conserve toutefois 92% du nombre de données ! Précisons aussi que les comptages ne sont pas nécessairement réalisés chaque année, certaines séries sont interrompues (parfois un an, parfois plus), mais d'une manière générale, il y a une bonne régularité, d'autant plus importante que les

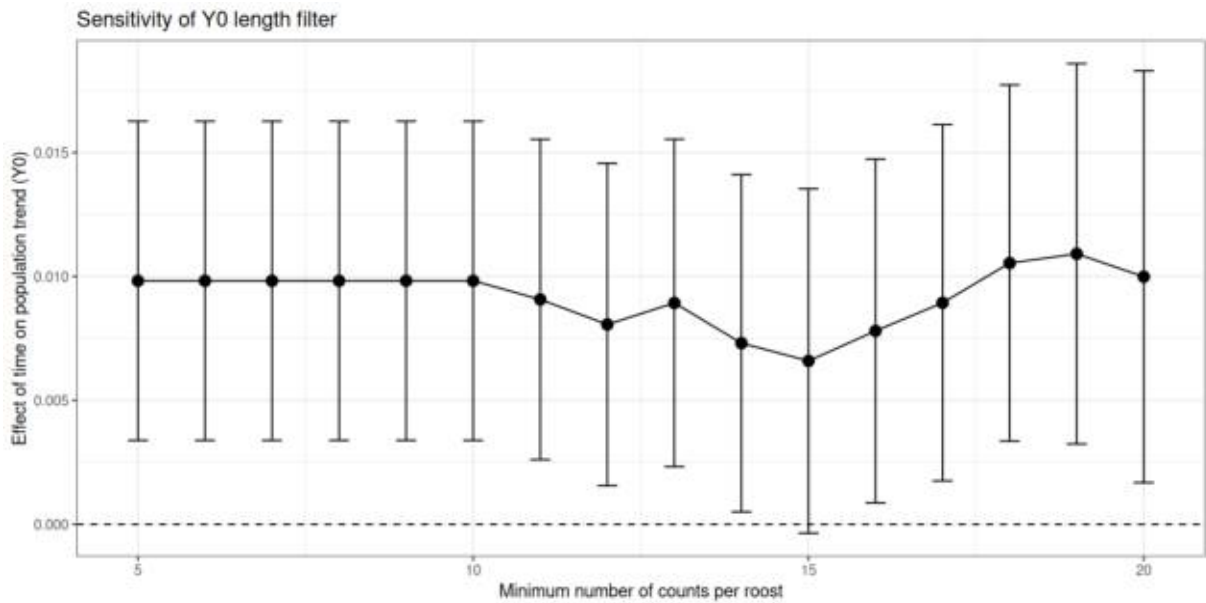
données sont récentes.

Étant donné qu'il n'y a pas de bon ou de mauvais seuil objectif, nous avons déterminé de manière empirique que le seuil de 10 comptages par série devrait constituer un bon compromis, conservant 41% des colonies mais 76% du nombre de données initiales. De manière empirique, dès l'étape de la sélection d'un modèle mixte pertinent (cf. point 2.3.5.), nous avons comparé l'évolution de l'effet année et celui de l'effet de l'interaction 'Nombre de turbines : année' et nous avons déterminé graphiquement que l'effet fixe semblait être stable jusqu'au moment où on réduisait le jeu de données en filtrant au seuil de 10 comptages par série (graphiques 2 et 3). Autrement dit, si on réduit encore plus la taille du jeu de données en choisissant un seuil de nombre de comptages supérieur à 10, les résultats semblent moins robustes et variables d'un sous-échantillon à l'autre. Cela suggère que filtrer à 10 comptages par série est effectivement pertinent.

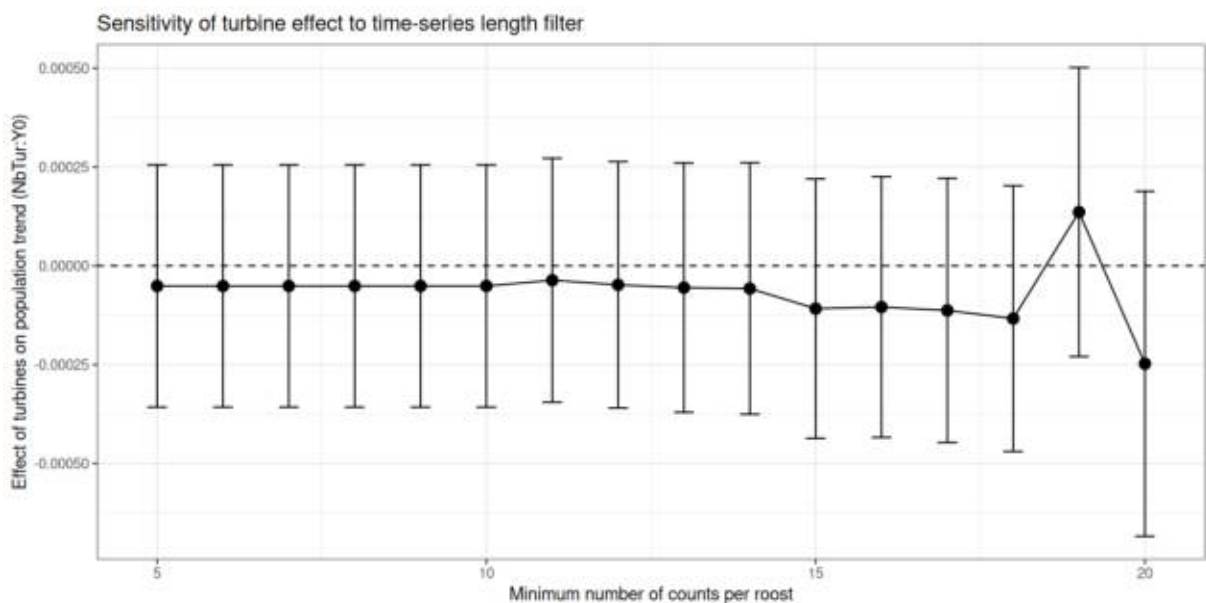
Par ailleurs, viser le plus grand nombre de données (et donc de colonies) en conservant des séries de 5 comptages a été testé (non présenté dans ce rapport) mais les modèles étaient moins informatifs, entachés d'une variabilité résiduelle importante et aucune variable n'atteignait un seuil de significativité malgré des tendances qui ont été confirmées par le filtre plus strict.

| Nombre de comptages | Nombre de colonies | Nb. cumulé de colonies | % ^{age} de colonies restantes |
|---------------------|--------------------|------------------------|--|
| 33 | 2 | 2 | 0 |
| 30 | 2 | 4 | 0 |
| 28 | 1 | 5 | 1 |
| ... | ... | ... | ... |
| 12 | 23 | 274 | 34 |
| 11 | 26 | 300 | 37 |
| 10 | 30 | 330 | 41 |
| 9 | 35 | 365 | 45 |
| 8 | 31 | 396 | 49 |
| 7 | 29 | 425 | 53 |
| 6 | 36 | 461 | 57 |
| 5 | 36 | 497 | 61 |
| 4 | 43 | 540 | 67 |
| 3 | 56 | 596 | 74 |
| 2 | 78 | 674 | 83 |
| 1 | 135 | 809 | 100 |

Tableau 5 : Nombre de colonies restant dans le jeu de données selon le seuil de nombre de comptages conservés. Les lignes entre 12 et 28 comptages sont masquées pour simplifier la lecture du tableau.



Graphique 2 : Évolution de l'effet fixe Y0 (année standardisée) en fonction du filtre appliqué sur la longueur des séries temporelles (Min. number of counts per roost).



Graphique 3 : Évolution de l'effet fixe de l'interaction du nombre de turbines et de Y0 (année standardisée) en fonction du filtre appliqué sur la longueur des séries temporelles (Min. number of counts per roost).

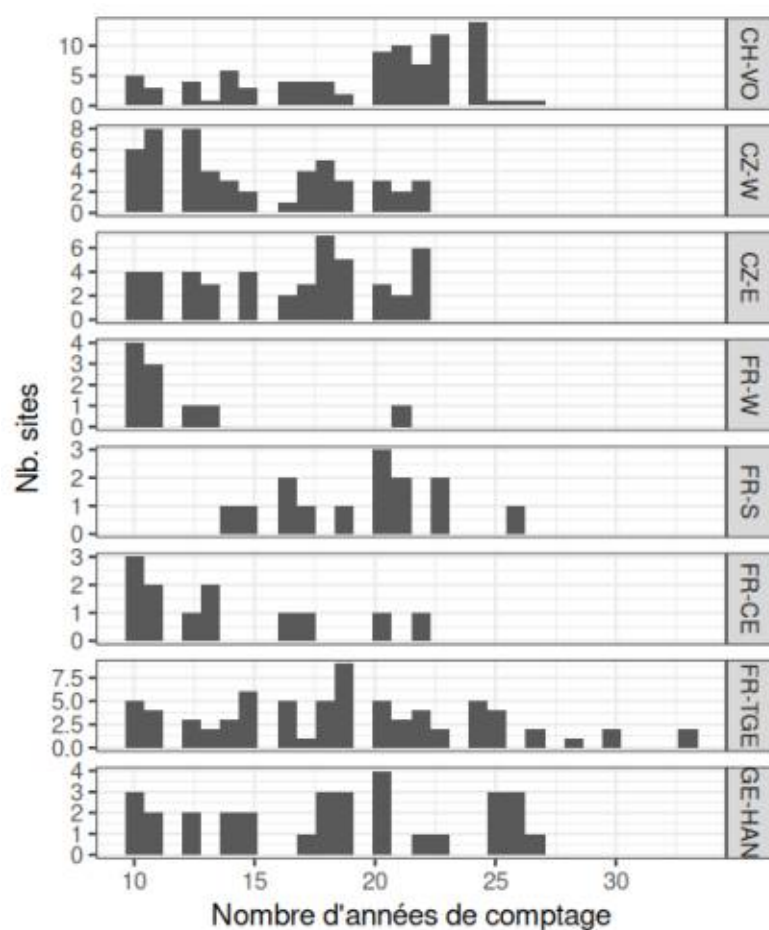
2.3.3.2. Groupes géographiques

Les frontières administratives ne correspondant pas forcément à des groupes écologiques cohérents, nous avons créé 8 groupes par un *clustering k-means* (procédure QGIS) pour constituer les groupes suivants, utilisés uniquement à des fins illustratives et non pour les analyses :

- GE-HAN - Allemagne, région de Hanovre
- CZ-W - République tchèque, partie ouest

- CZ-E - République tchèque, partie est
- FR-W - France, partie ouest
- FR-CE - France, partie centre-est
- FR-S - France, partie sud
- FR-TGE - France, partie "Très Grande Est" (incluant la Belgique, le GD de Luxembourg et deux colonies en Allemagne)
- CH-VO - Suisse et Vosges (FR)

Pour chacun de ces 8 groupes géographiques, on dispose donc de séries de temporelles parfois très longues, jusqu'à plus de 30 comptages, avec au moins partout des séries de 22 comptages. Seule la zone FR-W est déficiente en longues séries.



Graphique 4 : Effectifs de sites en fonction des longueurs des séries temporelles. Certaines séries peuvent présenter des années sans comptage.

2.3.3.3. Sélection des données environnementales

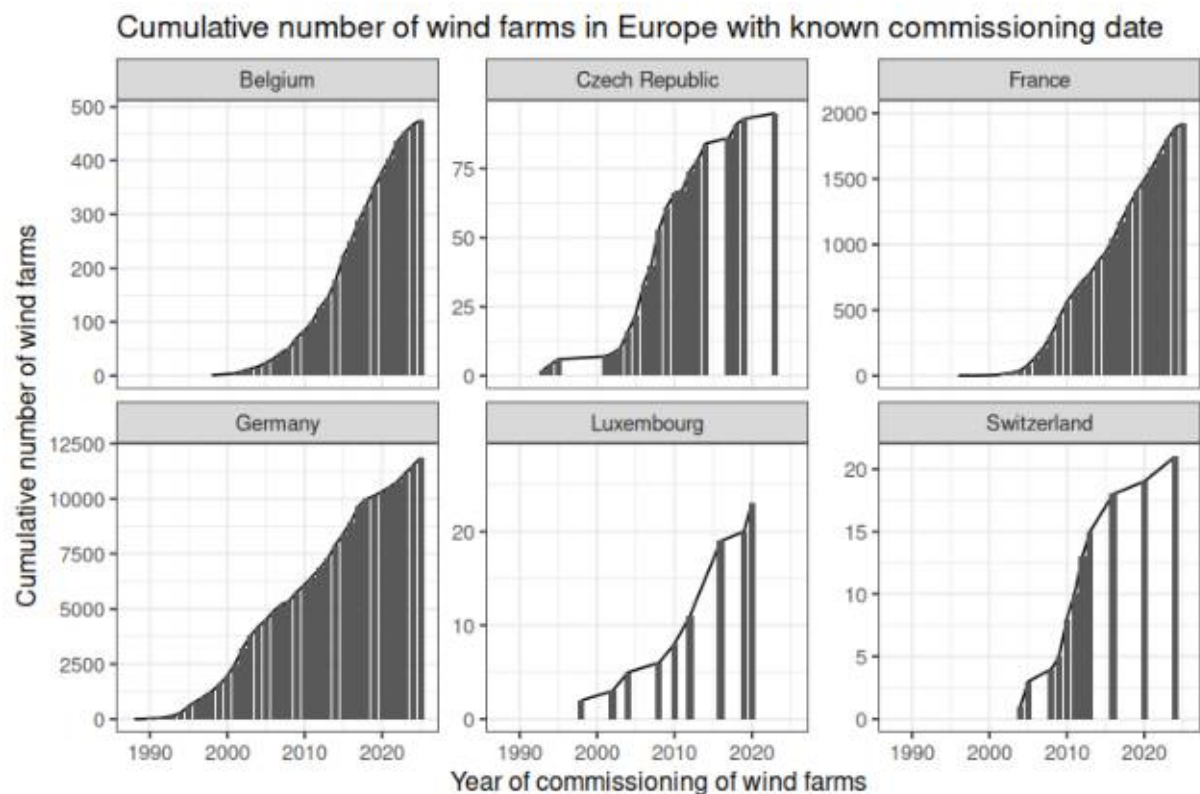
Nous avons réuni des couches cartographiques raster uniformes à l'échelle européenne pour extraire des variables environnementales à inclure dans les modèles mixtes. Tous les rasters ont été projetés au CSR "ETRS89-extended / LAEA Europe" (EPSG:3035) et unifiés à des pixels de 1x1 km. Certains avaient initialement une très haute définition (telles que 10x10m ou 20x20m) ce qui rendait les géotraitements très longs, voire impossibles.

Pour chaque colonie, une valeur est extraite à partir de buffers de 10 km de rayon autour des colonies. Les variables utilisées sont les suivantes :

- **Altitude**, extraite d'un Digital Elevation Model.
- **FM 2019 : fragmentation-connectivité forestière (2020)** : c'est un indice dérivé à la fois d'une variable "Tree Cover Density" TCD et de la structure géographique des massifs forestiers. Il prend des valeurs numériques regroupées en 5 classes : "Rare", "Patchy", "Transitional", "Dominant" et "Interior".
- **PC.Agric** (uniquement les cultures, donc la couverture temporaire du sol, sans les prairies), **PC.Forest** et **PC.Anthropic** : Proportion (sur une échelle de 0 à 1) de surfaces agricoles, forestières et anthropiques dans le buffer issues de la couche Ecopatches, un landcover du projet Lifewatch européen. Les zones de cultures ont été considérées comme un proxy potentiel à la fois du niveau de banalisation des agroécosystèmes et d'intrants en pesticides.
- **Types de forêts** du Forest Portal : 1. Broadleaved forest, 2. Coniferous forest, 3. Mixed forest, 4. Undetermined (Runge et al., 2023).
- **Forest loss** du Forest Portal : un indicateur de perturbation et d'intensification de la sylviculture, mesuré en % de surface déboisée sur la période 2000-2020

2.3.3.4. Sélection des données de parcs éoliens

Les données sur les parcs éoliens en Europe sont extraites d'une couche cartographique vectorielle (format GeoPackage) contenant des informations sur les parcs éoliens terrestres et offshore. Pour nos analyses, nous nous sommes concentrés uniquement sur les parcs éoliens terrestres des 6 pays pour lesquels nous avons pu obtenir des données de grand murin, en filtrant les données pour exclure les parcs offshore et ne conservant que ceux qui sont en production ou en construction. Nous avons ensuite extrait les informations pertinentes telles que le nombre de turbines, la puissance totale, la date de mise en service, etc.

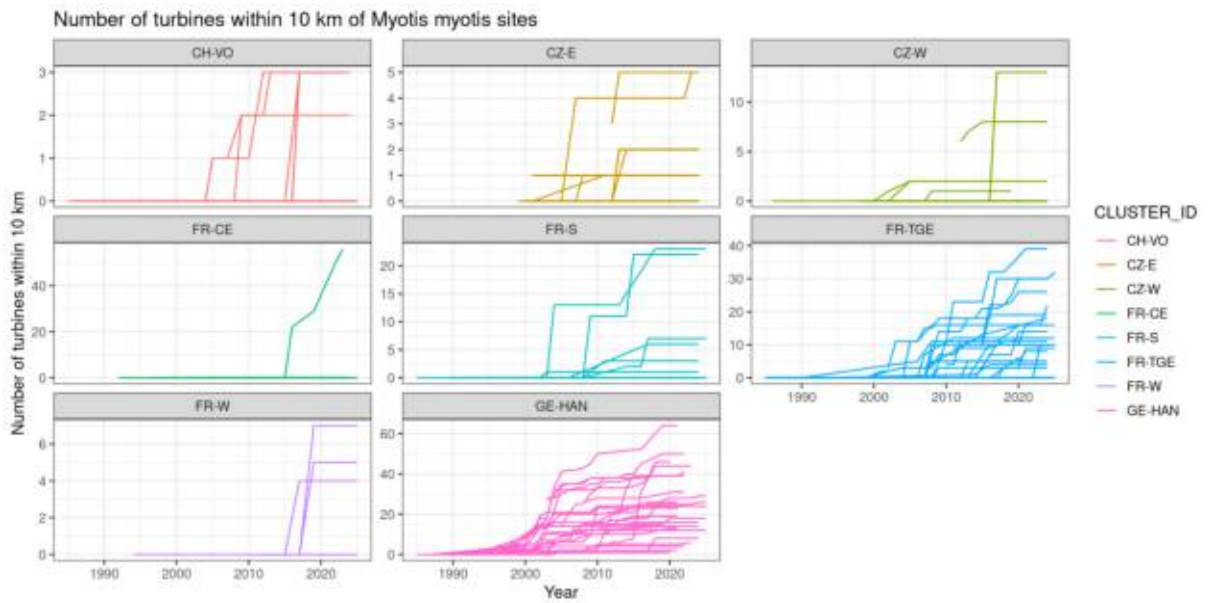


Graphique 5 : Évolution du nombre cumulé de nouveaux parcs éoliens mis en service pour les six pays étudiés.

Au final, sur un total de 27.547 parcs éoliens issus du jeu de données WindPower, 14.552 parcs sont situés dans les 6 pays (FR, BE, LU, DE, CH et CZ) considérés pour les analyses. Parmi ceux-ci, 9.568 (centroïdes de) parcs éoliens tombent dans les tampons de 10 km autour des 330 colonies retenues pour les analyses (voir point 3.2.). La valeur de 10 km résulte d'un choix arbitraire basé sur un compromis entre un périmètre suffisamment large reflétant les distances parcourues classiquement par le grand murin, les imprécisions de localisation des colonies et des centroïdes des parcs éoliens (maximum d'ordre kilométrique) et le fait de couvrir une surface trop importante, qui ferait perdre sens à nos analyses. Notre étude menée en 2023 en Belgique (Nyssen et al., 2023) avait permis de déterminer que des femelles allaitantes équipées de loggers GPS parcouraient en moyenne 9,8 km (min-max : 1,7 - 15,4 km) chaque nuit pour rejoindre leurs terrains de chasse. D'autre part, les colonies étant essentiellement situées dans des villes et des villages, on peut supposer que des parcs éoliens seraient systématiquement à au moins 5-10 km de zones habitées. Un rayon de moins de 10 km risquait de sous-estimer la présence de parcs éoliens. A contrario, la surface d'un tampon augmentant avec le carré du rayon utilisé, nous avons préféré cibler cette valeur de 10 km, très proche de la moyenne quotidiennement parcourue.

On a alors déterminé le nombre de parcs et de turbines situées, pour chaque année, dans un tampon de 10 km autour des colonies. Pour ce faire, un traitement SIG itératif a été réalisé en R au moyen d'une boucle évaluant, pour chaque année de comptage pour chaque colonie, le nombre cumulé de points (centroïdes de parcs éoliens) et en récupérant les attributs de ces géométries.

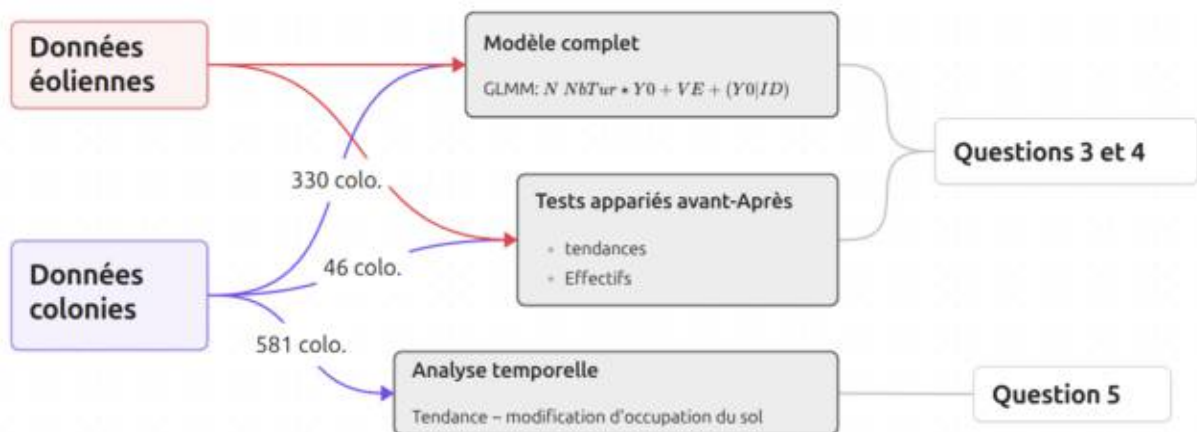
Ces effectifs sont représentés dans le graphique 6 ci-dessous.



Graphique 6 : Nombre cumulé de turbines situées dans un tampon de 10 km autour de chaque colonie, séparées par clusters géographiques pour la lisibilité.

2.3.4. Questions posées et approche statistique pour y répondre

Représentation schématique des données utilisées, des analyses et des questions adressées :



Pour rappel, les questions de recherche étudiées dans ce volet sont les suivantes :

- **Question 3 : la présence d'éoliennes a-t-elle une influence sur les colonies de grand murin (effectif et tendances) ?**
- **Question 4 : les tendances des colonies changent-elles une fois que des éoliennes sont construites ?**

Les questions posées impliquent la détection de phénomènes aux conséquences peu marquées ou indirectes telles que de l'effarouchement ou de la perte d'habitat de chasse. Notre seule *variable de réponse* est la taille des colonies. Ces données découlent de comptages en colonie, dans des conditions où les observateurs tentent de minimiser le dérangement, et donc entachés d'une certaine imprécision. De plus, les données sont collectées par de nombreux observateurs, disposant de moyens variés, ce qui induit notamment des différences dans les dates de comptage (et la présence ou non de juvéniles dans les maternités). Par ailleurs, la dynamique de population pour des colonies de reproduction de chauves-souris peut impliquer de la fusion-fission des groupes en méta-colonies, des changements de gîtes suite à du dérangement ou de la prédation, etc. On s'attend donc à ce que l'impact potentiel des éoliennes puisse être partiellement masqué ou corrompu par divers facteurs externes de l'environnement des colonies et des phénomènes stochastiques non-contrôlables. Les approches statistiques développées ci-dessous tiennent compte de ces éléments dans la mesure du possible et ont pour but de les isoler afin de mettre en évidence un éventuel effet des éoliennes.

Nous avons décidé d'analyser l'évolution des populations de grand murin (1) par une première approche globale incluant l'influence du facteur éolien (l'apparition progressive au cours du temps des parcs et la densité de turbines) ainsi que des facteurs environnementaux au moyen d'une analyse de modèle mixte généralisé (GLMM) sur un grand nombre de colonies, dont certaines n'ont aucune éolienne à proximité et d'autres ont vu l'apparition de parcs. Dans un second temps (2), nous nous sommes focalisés uniquement sur les colonies qui ont vu apparaître des éoliennes dans leur zone potentielle d'influence (tampon de 10 km) afin de comparer de la situation avant et après (Before-After) la construction des turbines.

La première approche (voir point 3.2.1.1) identifie les facteurs expliquant au mieux la variabilité du jeu de données dans le but de généraliser, de manière prédictive, leur influence respective. Notre hypothèse à tester étant l'existence d'une influence des éoliennes au cours du temps, le GLMM prend les nombres d'individus comme variable expliquée (ou variable dépendante) et le temps parmi les variables dépendantes fixes. Les autres variables dépendantes ajoutées au modèle ont pour but de chercher à expliquer au mieux la variabilité des données et ainsi d'identifier quelle serait la part due aux éoliennes et la part à l'environnement au sens large (occupation du sol, impacts humains, etc). Compte tenu du fait que les colonies ont leurs caractéristiques individuelles et peuvent potentiellement évoluer de manière indépendante (croître ou décroître, mais concomitamment), on va donc construire un modèle mixte qui comprend un 'intercept' aléatoire (les colonies peuvent avoir des populations différentes individuellement, dans des conditions identiques) et une pente aléatoire (les tendances peuvent être différentes dans des conditions identiques).

Les variables environnementales identifiées (voir point 2.3.3.3) ont le désavantage d'être "statiques". Il s'agit de différentes couches cartographiques descriptives du paysage et de caractéristiques des forêts utilisées comme des proxys des conditions dans lesquelles évoluent les colonies. Ces couches sont toutes suffisamment récentes pour être pertinentes et datent généralement du milieu de la période 2000-2020, mais ne traduisent dès lors par d'évolution des conditions dans le temps. Or dans un contexte de changement climatique et d'urbanisation galopante, nous avons voulu tester si des

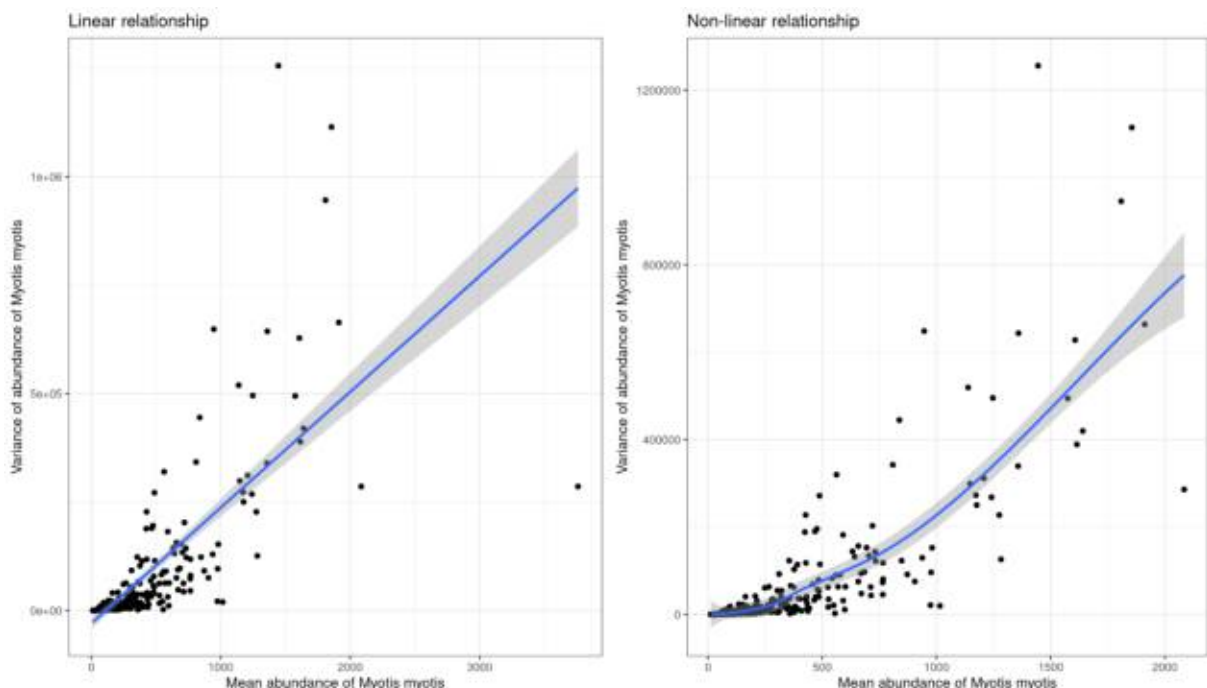
changements globaux au cours du temps pouvaient éventuellement aussi jouer un rôle sur les tendances de populations étudiées. Nous avons dans ce cadre effectué une analyse complémentaire (voir point 3.3), indépendamment du contexte éolien, destinée à mesurer l'impact des modifications d'occupation du sol au cours du temps sur le grand murin. Les résultats de cette approche "dynamique" seront discutés dans les conclusions finales de ces différentes analyses.

La seconde approche (voir point 3.2.1.2) utilise une sélection de 46 colonies (912 données de comptage) qui ont vu apparaître un ou plusieurs parcs éoliens durant la période de suivi. On a gardé toutes les colonies pour lesquelles il y avait au moins 3 comptages avant et 3 après la première construction d'éolienne. L'objectif est de tester, de manière appariée, les effectifs globaux ainsi que la pente d'évolution de la population, colonie par colonie.

Les étapes de préparation et de nettoyage des données, le choix des variables environnementales, et enfin la construction puis l'interprétation des modèles sont décrites dans la suite de ce document.

Choix du type de GLMM

Les GLMM sont dits "généralisés" car ils peuvent être utilisés pour divers types de données, qui ne suivent pas une distribution normale (ce qui constitue une condition requise pour le modèle linéaire "classique"). Dans le cas de comptage comme les jeux de données traités ici, les données suivent typiquement une distribution constituée de nombreuses faibles valeurs et progressivement de moins en moins de valeurs élevées (Graphique 7). La variance tend vers une accélération de sa croissance pour les valeurs d'abondance plus élevées. Ceci justifie le recours à un log-link dit "de négative binomiale" qui a pour effet de se défaire des effets d'échelle grâce à la transformation logarithmique.



Graphique 7 : Tracé exploratoire de la relation de la variance à la moyenne des données de comptage.

On ne transforme donc pas logarithmiquement les données de comptage. Nous avons utilisé la fonction-lien “binomiale négative” (`'nbinom2'`, càd une transformation interne à l'analyse GLMM), conçue pour l'analyse de données pouvant comprendre un nombre élevé d'individus (comme c'est le cas pour des colonies de chauves-souris). Ce type de traitement est particulièrement adapté pour les situations où il y a :

- une distribution de type Poisson : beaucoup d'occurrences pour les faibles valeurs, diminuant rapidement vers les valeurs plus hautes ;
- une plus grande dispersion à la hausse de la moyenne ;
- des données étendues, c'est-à-dire avec des variabilités élevées.

2.4. Analyses supplémentaires - Étude temporelle des changements d'occupation du sol

Pour rappel, la question de recherche étudiée dans ce volet est :

- **Question 5 : l'évolution temporelle de l'occupation du sol explique-t-elle les tendances de populations ?**

L'analyse de l'augmentation ou de la diminution d'effectifs qui vient d'être décrite peut potentiellement être viciée par des facteurs cachés difficiles à déceler à une large échelle temporelle et géographique. Nous avons voulu explorer l'impact potentiel de changements globaux de l'occupation du sol en analysant la cartographie européenne CORINE Land Cover (CLC) qui a l'avantage d'être uniforme et répétée selon une méthodologie comparable. Sur notre période d'étude, le CORINE Land Cover a été publié pour quatre périodes : 1990-2000; 2000-2006 ; 2006-2012 ; 2012-2018. Nous avons conservé les 3 périodes de même durée pour étudier des effets temporels sur le même nombre d'années. On a donc testé si le land cover à l'instant T ou si son état à l'instant T+1 ("lagged effect" ou effet retardé) pouvaient expliquer, indépendamment du développement éolien, les données démographiques des colonies. En effet, dans le cas d'une perturbation environnementale, la réponse de l'individu ou de la colonie peut se manifester avec un décalage temporel, parfois de plusieurs années.

L'exploration de cet effet retardé est réalisée pour les variables environnementales car on n'a que 4 périodes "discrètes" alors que pour les éoliennes, l'impact est estimé bien plus finement, comptabilisé chaque année, avec des nombres de turbines cumulés qui évoluent en permanence.

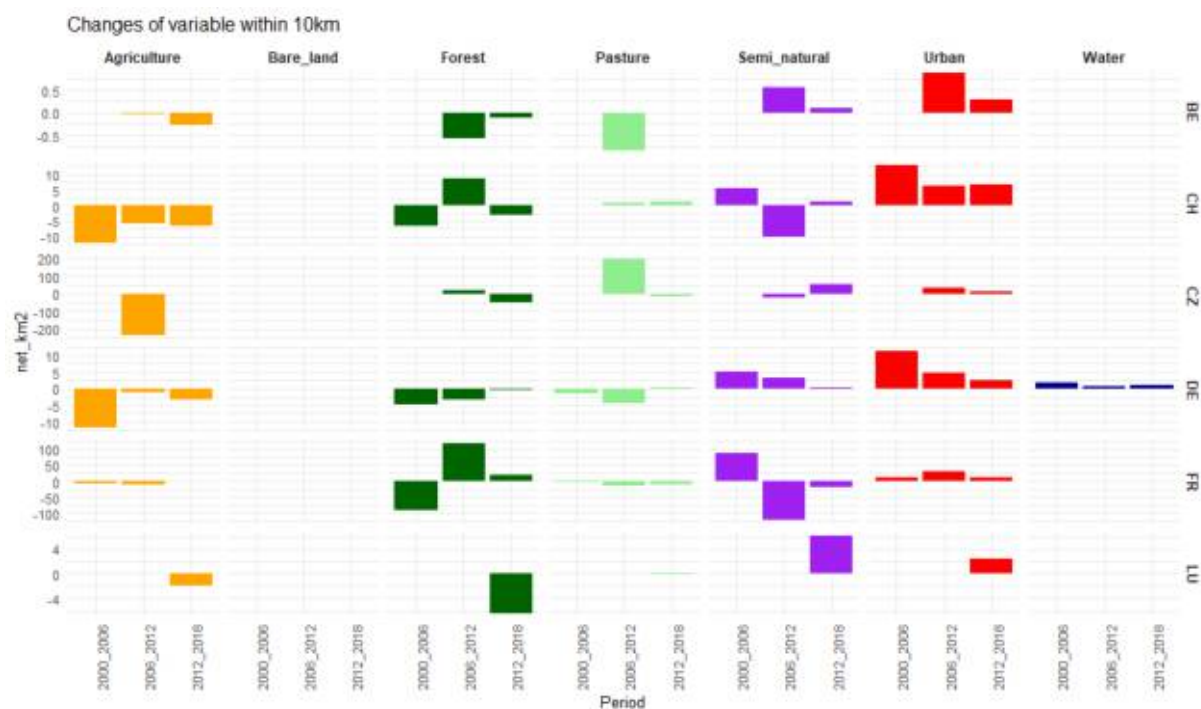
2.4.1. Sélection des variables environnementales

Trois couches cartographiques CORINE Land Cover sont utilisées sous forme de raster qui renseignent les changements de type d'habitat par pixel de 100m de côté et par période de 6 ans à l'échelle de l'Europe. La base de données CORINE fournit une nomenclature d'habitats définis plus ou moins précisément selon les niveaux. Dans le cadre de notre étude, nous avons regroupé les classes numériques les plus précises selon les variables suivantes :

| Variables | Classe CORINE Land Cover |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Agriculture | de 12 à 17 et de 19 à 22 |
| Bare Land (terre nue) | de 30 à 35 |
| Forest (Forêt) | de 23 à 25 |
| Urban (Urbanisation) | de 1 à 11 |
| Pasture (Pâturage) | 18 |
| Semi-natural (Zones Semi-naturelles) | de 26 à 29 |
| Wetlands (Zones humides) | de 35 à 37 |
| Water (Zones aquatiques) | 40 et 41 |

Tableau 5 : Variables d'occupation du sol retenues pour l'analyse, ainsi que les classes CORINE Land Cover correspondantes.

Pour chaque colonie, dans un rayon de 10 km, nous calculons le changement net de chaque variable environnementale, correspondant au gain d'un type d'habitat moins sa perte sur la période de 6 ans considérée. Cette transformation du paysage peut être visualisée par pays et type d'habitat sur le graphique 8.



Graphique 8 : Valeur nette des variables environnementales par période (2000-2006; 2006-2012; 2012- 2018) et par pays (BE = Belgique, CH = Suisse, CZ = Tchéquie, DE = Allemagne, FR = France, LU = Luxembourg).

2.4.2. Sélection des colonies

Sur base des données brutes et pour chaque période de 6 ans, nous avons conservé les colonies pour lesquelles nous avons au moins 5 comptages annuels distincts, afin d’avoir un nombre suffisant de recensements pour définir une croissance périodique pour chaque colonie. Ainsi, nous avons pu garder 581 colonies pour les 3 périodes.

2.4.3. Analyses statistiques et construction des modèles

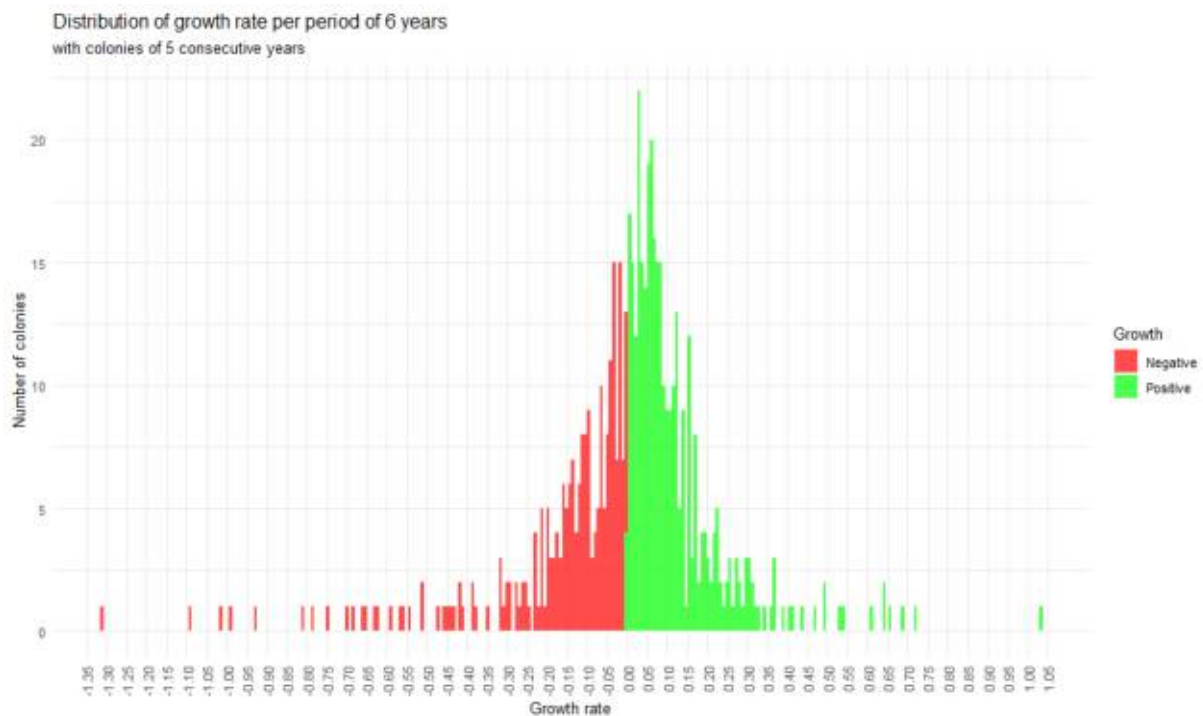
Compte tenu de la nature des données CORINE qui recense les transformations environnementales de chaque pixel, il apparaît évident que la diminution de la surface occupée par un habitat conduit forcément à l’augmentation d’un autre. Des corrélations entre variables sont donc inévitables. La prise en compte de ces corrélations est primordiale, sans quoi les variables ne sont plus indépendantes et les modélisations ne sont plus capables d’assigner l’effet à la bonne variable.

Pour résoudre ce problème de corrélation, nous avons, (i) regroupé les variables environnementales pertinentes, (ii) remis à l’échelle l’ensemble des variables (*rescaling* consistant à rendre les nouvelles variables agglomérées sur une échelle de -1 à 1 pour qu’elles soient comparables entre elles) et (iii) considéré deux modèles différents pour tester séparément chacune des variables corrélées.

Par ailleurs, comme pour la question principale de l’interaction avec l’éolien, nous avons utilisé des GLMM (voir point 2.3.4.). Dans un premier temps, nous avons estimé la tendance de la croissance démographique pour chaque population et chaque période de 6 ans. Elle a été calculée comme la pente d’un modèle linéaire simple du nombre d’individus (après transformation en logarithme pour lisser les écarts importants entre comptages) en fonction

des années. Ainsi, une pente positive décrit une augmentation des effectifs au cours de la période et une pente négative traduit un déclin.

Nos données présentent des valeurs de croissance périodique centrées aux alentours de zéro, correspondant à des populations relativement stables (graphique 9). Bien qu'une telle distribution normale soit adaptée à l'utilisation de modèles linéaires, nous avons voulu étudier des effets plus fins détectables en employant une approche davantage axée sur le basculement entre une tendance croissante vs décroissante plutôt que sur l'amplitude de la (dé-)croissance à proprement parler. Pour ce faire, nous avons catégorisé les valeurs de croissance : les croissances négatives (déclin), ont été codées 0, et les croissances positives (augmentation), ont été codées 1. Cette approche binaire permet de se concentrer sur la probabilité d'occurrence d'une croissance positive plutôt que sur son intensité. On ne se questionne donc pas sur l'effet des changements d'occupation du sol sur la croissance nette mais plutôt l'effet des changements d'occupations du sol sur le signe de la croissance.



Graphique 9 : Distribution des taux de croissance par période de 6 ans (growth rate) pour les colonies ayant au moins 5 recensements par période. Une croissance positive indique que la colonie a augmenté en effectifs sur la période, une croissance négative indique que la colonie a diminué sur la période.

Ainsi, les deux modèles conservés étudiant la probabilité de croissance (en fonction binaire) sont les suivants, l'un écartant les milieux agricoles et pâturés et l'autre écartant les milieux urbanisés :

- 1) **GLMM 1** : `growth_bin ~ net_ForestSemiNatural + net_Urban + lag_ForestSemiNatural + lag_Urban + (1 | ID) + (1 | period)`
- 2) **GLMM 2** : `growth_bin ~ net_ForestSemiNatural + net_AgriculturePasture + lag_ForestSemiNatural + lag_AgriculturePasture + (1 | ID) + (1 | period)`

Pour ces modèles, nous avons également considéré les colonies comme facteur aléatoire, en plus de la période.

De plus, une ACP (Analyse en Composantes Principales) a été réalisée afin de résumer la structure de covariance entre les variables d'occupation du sol. Cette méthode permet de réduire le nombre de variables en en créant des nouvelles synthétiques, appelées composantes, facilitant l'interprétation et la visualisation des données. Elle permet ainsi d'identifier les principaux gradients de variation du paysage et d'évaluer dans quelle mesure l'urbanisation et les surfaces agricoles/pâturées sont liées. Si c'est le cas, elles devraient s'inscrire dans une même dimension structurante, représentative d'un gradient global de transformation du paysage. Ainsi, le dernier modèle GLMM reprenant les différentes dimensions de l'ACP (notées PCX) en variables explicatives permet de mettre en évidence le lien entre les deux modèles précédents.

```
GLMM_ACP : growth_bin ~ PC1 + PC2 + PC3 + (1 | ID) + (1 | period)
```



Partie 3 : Résultats

3. Résultats

3.1. État des lieux sur l'état de santé des populations nord-européennes du grand murin, la sensibilité à l'éolien et sur les menaces identifiées dans les différentes régions

3.1.1. États de conservation

Dans les régions biogéographiques continentale et atlantique de l'Europe, l'état de conservation du grand murin a globalement été évalué comme défavorable lors du rapportage au titre de l'article 17 de la Directive "Habitats" pour la période 2013-2018. Dans la majorité des pays étudiés, l'espèce est ainsi considérée dans un état *défavorable – inadéquat* (U1), et plus ponctuellement *défavorable – mauvais* (U2). La République Tchèque, l'Autriche et la Pologne ont montré cependant un état de conservation de l'espèce jugé comme *favorable* (FV) lors de la période 2013-2018. Les statuts de conservation pour la période 2019-2024 ne sont parus actuellement que pour le Luxembourg où il est considéré comme *défavorable - inadéquat* (U1) et pour la Pologne, où le statut du grand murin est considéré comme *défavorable - mauvais* (U2) (European Environment Agency., 2020; Kepel, 2024; Règlement grand-ducal du 12 mars 2024 modifiant le règlement grand-ducal du 1er août 2018 instituant un système numérique d'évaluation et de compensation en éco-points., 2024).

La carte de la figure 7 présente l'état de conservation évalué dans les différentes régions biogéographiques sur la période 2013-2018 pour l'Europe (les régions biogéographiques sont présentées sur la figure 6). Attention que dans cette carte de synthèse, certaines évaluations nationales ou régionales ont été modifiées par la commission européenne.

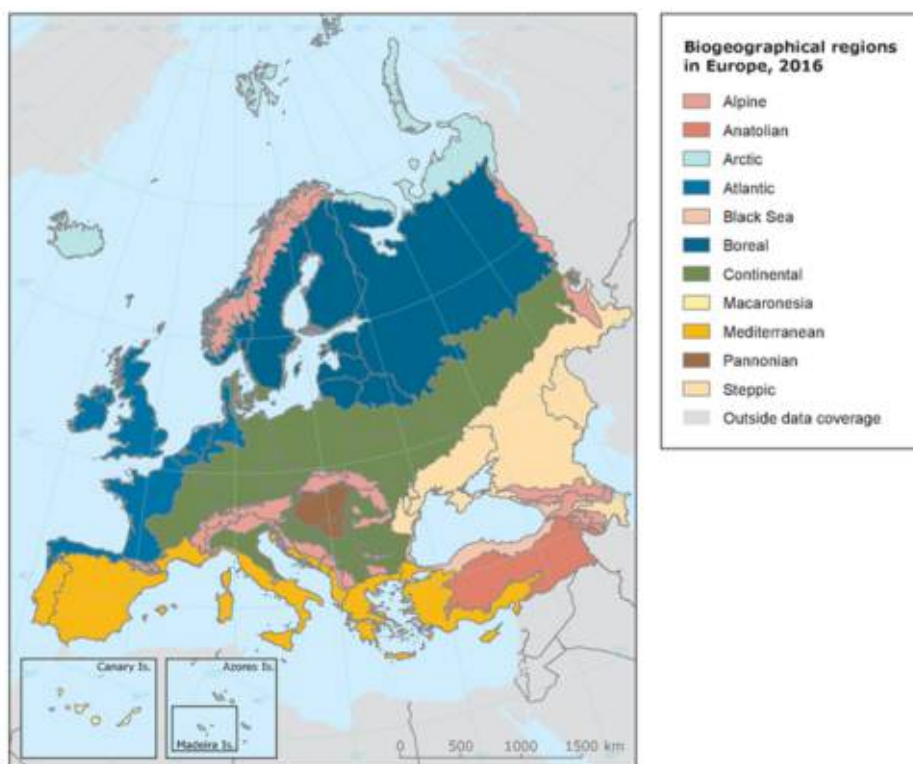


Figure 6 : Régions biogéographiques européennes (Biogeographical Regions in Europe, 2017).

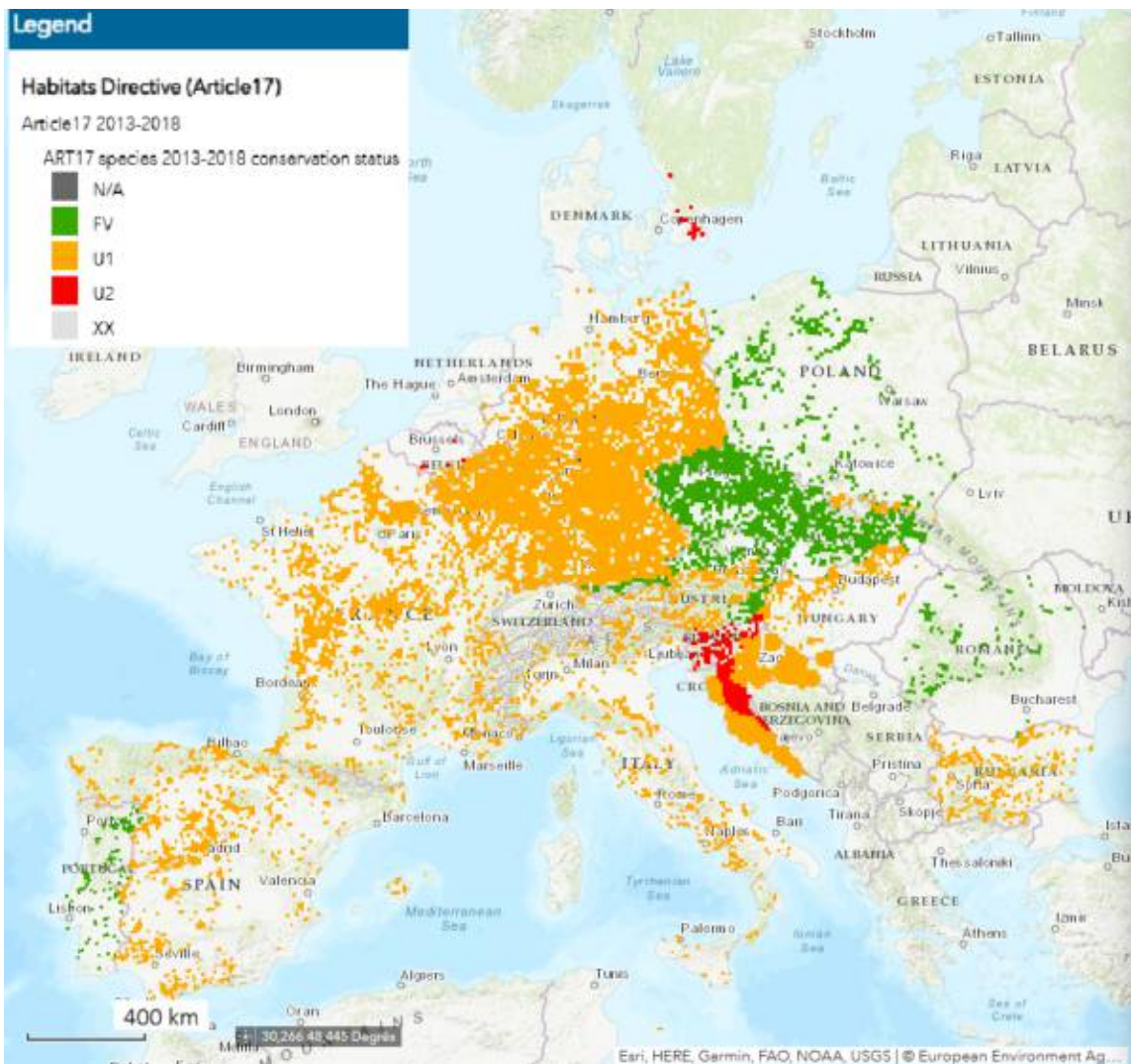


Figure 7 : État de conservation du grand murin lors du rapportage 2013-2018 des États-membres à l'Europe dans le cadre de l'article 17 de la Directive "Habitats" Natura 2000 (European Environment Agency, 2020).

En résumé, l'état de conservation des populations en Europe est généralement jugé défavorable.

3.1.2. Listes Rouges

À l'échelle européenne, la dernière évaluation (datant de 2023) a classé le grand murin dans le statut de *préoccupation mineure* (LC = Least concern) (Russo & Cistrone, 2023).

À l'exception du Grand-Duché de Luxembourg et de la Pologne, tous les autres pays étudiés ont établi une Liste Rouge des chiroptères, bien que les évaluations soient plus ou moins récentes. Deux pays/régions ont classé le grand murin comme espèce menacée¹ : la Wallonie (2021) et la Suisse (2011) le classent comme espèce *vulnérable* (VU) et la Flandre (2014) le classe en tant qu'espèce *en danger* (EN). L'espèce est *quasi-menacée* (NT) en

¹ Une espèce est considérée comme "menacée" si elle fait partie d'un de ces trois statuts : *en danger critique* (CR), *en danger* (EN), *vulnérable* (VU) (UICN).

République Tchèque et est considérée comme éteinte aux Pays-Bas (2020) (Chobot & Němec, 2017; Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2025; Purro & Fries, 2011; Thissen & van Norren, 2020; Van Vyve & Smits, 2021). À l'échelle nationale, la France et l'Autriche ont classé le grand murin dans la catégorie *préoccupation mineure* (LC) et l'Allemagne, n'ayant pas suivi la classification type UICN considère l'espèce *sans danger* (BATLAS, 2023; Plass et al., 2023; UICN et al., 2017). Certaines régions d'Allemagne ont émis des Listes Rouges régionales². Ainsi, le grand murin est classé comme *à risque* (équivalent à *vulnérable* (VU)) en Sarre, en Saxe et en Thuringe et *à risque élevé* (équivalent à *en danger* (EN)) en Rhénanie-du-Nord-Westphalie et en Saxe-Anhalt. Ces régions correspondent globalement à la région centre de l'Allemagne (Meinig et al., 2020).

En résumé, concernant le risque d'extinction des populations de grand murin, il est considéré comme non préoccupant à l'échelle Europe entière et de la France, l'Allemagne et l'Autriche, tandis que l'espèce est considérée comme menacée, vulnérable ou proche d'être menacée dans plusieurs autres pays dont la Belgique.

3.1.3. Tendances

Concernant les tendances des populations disponibles les plus récentes pour chaque région ou pays, la Wallonie, la France, la République Tchèque et l'Allemagne ont indiqué une tendance à l'augmentation (BATLAS, 2023; Chobot & Němec, 2017; UICN et al., 2017; Van Vyve & Smits, 2021). L'Autriche indique une tendance stable (Plass et al., 2023). Les autres pays étudiés n'ont pas émis d'informations à ce propos.

3.1.4. Synthèse

Le tableau 6 synthétise les états de conservation, les statuts sur les Listes Rouges et les tendances des populations de grand murin dans les pays étudiés. Les tendances indiquées concernent la période de la dernière évaluation disponible pour le pays concerné.

| Pays | Statut liste rouge (date) | Tendance | État de conservation 2013-2018 (art. 17) | | | | |
|--------------------|---------------------------|----------|--|---------------------|-----------------|--------|------------|
| | | | Région atlantique | Région continentale | Méditerranéenne | Alpine | Pannonique |
| Belgique | Wallonie : VU (2021) | ↗ | U2 | U1 | X | X | X |
| | Flandre : EN (2014) | ? | | | | | |
| France | LC (2017) | ↗ | U1 | U1 | U1 | U1 | X |
| Suisse | VU (2011) | ? | X | X | X | X | X |
| GD Luxembourg | X | X | X | U1 | X | X | X |
| Pologne | X | X | X | FV | X | U1 | X |
| République Tchèque | NT (2017) | ↗ | X | FV | X | X | FV |
| Pays-Bas | RE (2020) | X | XX | X | X | X | X |
| Allemagne | Sans danger (2020) | ↗ | U1 | U1 | X | FV | X |
| Autriche | Autriche : LC (2005) | Stable | X | FV | X | U1 | X |
| Europe | LC (2017) | ? | U1 | U1 | X | X | X |

Tableau 6 : Statuts liste rouge, états de conservation et tendances des populations de grand murin dans les pays étudiés. Les listes rouges sont les plus récentes disponibles. Les tendances indiquées concernent la période de la dernière évaluation disponible pour le pays concerné. L'état de conservation est issu du

² Les allemands ont leur propre méthodologie pour établir les Listes Rouges ([lien](#)). Les catégories utilisées pour les taxons évalués sont les suivantes : 0 = éteint, disparu - 1 = en voie d'extinction - 2 = à risque élevé - 3 = à risque - G= danger d'ampleur inconnue - R = extrêmement rare - V = liste de prévention - D = données insuffisantes - * = non à risque

rapportage 2013-2018 des États-membres de l'Union européenne dans le cadre de l'article 17 de la Directive Habitat. Sources : voir texte.

En résumé, les informations disponibles indiquent que la population de grand murin en Europe présente globalement un état de conservation défavorable, bien que la situation varie sensiblement selon les pays et les régions biogéographiques. Lors du rapportage 2013–2018 au titre de la directive Habitats, l'espèce est majoritairement classée en état de conservation défavorable - inadéquat (U1) pour la plupart des pays étudiés. Quelques exceptions se distinguent toutefois : la République tchèque, la Pologne et l'Autriche rapportent un état de conservation jugé favorable (FV) dans cette région. Dans certains cas plus ponctuels, un état défavorable - mauvais (U2) est également signalé, traduisant une situation plus préoccupante localement. Il convient par ailleurs de noter que les évaluations présentées concernent uniquement les régions biogéographiques présentes dans les pays considérés.

Parallèlement à cette évaluation de l'état de conservation, les statuts de Liste Rouge montrent également une situation contrastée. À l'échelle européenne, l'espèce est globalement considérée comme de préoccupation mineure (LC). Toutefois, certaines évaluations nationales ou régionales indiquent des niveaux de menace plus élevés : par exemple, la Wallonie (2021) et la Suisse (2011) classent l'espèce comme vulnérable (VU), tandis que la Flandre (2014) la considère en danger (EN). La République tchèque la classe comme quasi menacée (NT), et aux Pays-Bas l'espèce est considérée comme éteinte régionalement (RE). À l'inverse, plusieurs pays comme la France, l'Autriche ou l'Allemagne la maintiennent dans la catégorie préoccupation mineure (LC), bien que certaines évaluations régionales en Allemagne indiquent un niveau de risque plus élevé.

Certaines divergences peuvent ainsi apparaître entre l'état de conservation rapporté au titre de la directive Habitats et les statuts de Liste Rouge. Ces différences s'expliquent notamment par des objectifs distincts selon les deux cadres d'évaluation. L'état de conservation vise à apprécier la situation globale de l'espèce au regard de sa dynamique de population, de son aire de répartition et de la qualité de ses habitats, tandis que les Listes Rouges évaluent principalement le niveau de risque d'extinction. De plus, les évaluations de Liste Rouge reposent en grande partie sur l'expertise scientifique disponible au moment de leur élaboration, qui pousse parfois à une évaluation particulièrement prudente du risque.

Dans l'ensemble, ces éléments soulignent une situation contrastée pour le grand murin en Europe : si certaines populations présentent un état de conservation favorable, la majorité des évaluations indiquent une situation défavorable, avec des disparités marquées selon les territoires. Les statuts de Liste rouge reflètent également cette hétérogénéité, allant de *préoccupation mineure* à *éteint régionalement* selon les pays ou les régions considérés. Toutefois, il est à noter que les tendances des populations sont majoritairement considérées comme étant à la hausse ou stables.

Les principales menaces susceptibles d'expliquer ces tendances et la sensibilité de l'espèce à l'éolien sont présentées ci-après.

3.1.5. Menaces sur l'espèce et sensibilité à l'éolien

Concernant les menaces qui pèsent sur l'espèce en Europe, les principales sont la rénovation et la destruction des bâtiments accueillant des gîtes, la fragmentation et la dégradation des habitats de chasse, ainsi que l'utilisation de pesticides (Chobot & Němec, 2017; Declercq et al., 2017; Hommersen & Limpens, 2024; Jouve, 2011; Kepel, 2024; *Myotis myotis* | UNEP/Eurobats, s. d.; OAFS et al., 2019; Plass et al., 2023). L'éolien n'est pas considéré comme une menace dans les documents de référence analysés à l'échelle européenne.

Tous les pays de la zone d'étude prennent en compte les chauves-souris dans les projets éoliens, via l'existence de lignes directrices sur la réalisation de relevés lors des études d'impact, ou encore de bridages à mettre en œuvre par exemple.

Concernant le grand murin, plus de la moitié des pays étudiés (France, Suisse, Grand-Duché de Luxembourg, Pologne et Allemagne) indiquent une sensibilité jugée faible dans leurs documents de référence (tableau 7). Dans les autres pays étudiés, les documents de référence ne mentionnent pas de sensibilité particulière du grand murin vis-à-vis de l'éolien. La sensibilité identifiée est principalement liée au risque de dérangement des sites de reproduction, des gîtes de repos ainsi qu'à la destruction des zones de chasse, en particulier dans le cas d'implantations d'éoliennes en milieu forestier ou à proximité immédiate de ces sites.

En Wallonie, pour rappel, la sensibilité de l'espèce à l'éolien est jugée "modérée" par l'autorité compétente, mais celle-ci considère que : *"la présence significative du grand murin, dans un endroit situé dans son aire de répartition principale, rend rédhibitoire tout projet éolien puisqu'aucune mesure d'atténuation ou de compensation n'est suffisante pour garantir le maintien des effectifs de cette espèce dans un état de conservation favorable"* (SPW-ARNE, 2025).

À l'échelle régionale, certaines recommandations évoquent néanmoins la prise en compte spécifique du grand murin dans les études préalables à l'exploitation d'installations éoliennes :

- attention à l'espèce dans les déterminations acoustiques (Auvergne-Rhône-Alpes) ;
- risque faible de perturbation des gîtes de reproduction et des aires de repos (Allemagne) ;
- risque de perturbation des habitats de chasse en forêt (Thuringe) ;
- espèce sensible pour laquelle le bridage doit être adapté (Thuringe et Hesse). Les modalités d'adaptation du bridage chauves-souris en cas de présence du grand murin ne sont cependant pas expliquées.

Ces documents n'ont généralement pas de portée juridique, à l'exception de certaines régions d'Allemagne où des prescriptions plus contraignantes peuvent s'appliquer.

Le détail de la prise en compte du grand murin dans l'éolien se trouve dans le tableau 7.

| Pays | Région | Prise en compte des chauves-souris dans l'éolien (oui/pas de guide) | Prise en compte du Grand murin spécifiquement dans l'éolien (oui/non) | Commentaires |
|--------------------|-----------------------------|---|--|--|
| Belgique | Wallonie | Oui | Oui | Tout projet éolien doit être évalué et peut être considéré comme re dhibitoire si présence significative du Grand murin |
| | Flandre | Oui | Non | Pas de colonie de Grand murin en Flandre |
| France | National | Oui | Non | |
| | Auvergne-Rhône-Alpes | Oui | Oui | Prêter attention au Grand murin lors de l'étude acoustique |
| | Normandie | Oui | Non | Ne pas installer d'éoliennes à proximité des forêts (<200m) et focus sur les murins lors de l'étude acoustique pour les projets à plus de 200m |
| | Aquitaine | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Hauts-de-France (Picardie) | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Occitanie | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Ile-de-France | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Centre-Val-de-Loire | Oui | Non | |
| | Bourgogne | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Pays de la Loire | Pas de guide | Pas de guide | |
| | Grand Est | Oui | Non | |
| | Bretagne | Pas de guide | Pas de guide | |
| PACA | Pas de guide | Pas de guide | | |
| Suisse | National | Oui | Oui | Le Grand murin est repris dans les espèces dont des collisions ont été constatées dans la littérature et dont le risque de collision est avéré. Pas de disposition particulière. |
| GD Luxembourg | National | Oui | Non | |
| Pologne | National | Oui | Non | Les espèces de murins spp. peuvent être affectées de façon faible à modérée lors de la construction de l'éolienne pendant la période de migration automnale (perte de lieux d'alimentation et voies migratoires vers les zones d'alimentation). Espèce considérée comme à faible risque de mortalité par les éoliennes, et taux de mortalité sporadique. |
| Slovaquie | National | Oui | Non | |
| République Tchèque | National | Oui | Non | |
| Pays-Bas | National | Oui | Non | |
| Autriche | National | Oui | Non | |
| Allemagne | National | voir région | voir région | |
| | Baden-Württemberg | Oui | Oui | Présence d'une liste d'espèces sensibles dont les sites de reproduction et de repos peuvent être perturbés. Le Grand-murin est repris dans cette liste mais avec une note bien mentionnant que l'espèce est une exception et qu'il n'y a que quelques cas où une éolienne peut perturber leur gîte. |
| | Basse-Saxe | Oui | Non | |
| | Bavière | Oui | Non | |
| | Berlin | Oui | Oui | Idem Brandebourg |
| | Brandebourg | Oui | Oui | Présence d'une liste d'espèce sensible à la perturbation des sites de reproduction et de repos dont le Grand-murin fait partie. |
| | Hesse | Oui | Oui | Repris dans plusieurs listes : espèces sensibles aux collisions - catégorie faible, espèce avec risque pour les lieux de reproduction et de repos - surtout pour les gîtes en forêt, espèces pour lesquelles le bridage doit être adapté |
| | Mecklembourg - Poméranie | Oui | Non | |
| | Rhénanie du Nord-Westphalie | Oui | Non | |
| | Rhénanie - Palatinat | Oui | Oui | Espèce avec risque pour les lieux de reproduction et de repos - surtout pour les gîtes en forêt, risque de collision faible. |
| | Sarre | Oui | Oui | Espèce avec risque pour les lieux de reproduction et de repos - surtout pour les gîtes en forêt, risque de collision faible. |
| | Saxe-Anhalt | Oui | Non | |
| | Schleswig-Holstein | Oui | Non | |
| Thuringe | Oui | Oui | Repris dans plusieurs listes : espèces sensibles aux collisions (voies de transit et de reconnaissance) - catégorie peu fréquent, espèce avec risque pour les lieux de reproduction et de repos - surtout pour les gîtes en forêt, espèce avec risque de perturbation des zones de chasse (en forêt), espèces pour lesquelles le bridage doit être adapté. | |
| Brême | Pas de guide | Pas de guide | | |
| Hambourg | Pas de guide | Pas de guide | | |
| Saxe | Oui | Oui | Repris dans plusieurs listes : espèces sensibles à la perturbation des gîtes en forêt, aux zones de chasse en forêt, sensibles aux collisions (voies de transit et de reconnaissance). | |

Tableau 7 : Synthèse de la prise en compte du grand murin dans les projets éoliens dans les pays étudiés selon les documents de référence (Sources : Bartonička, 2012, 2012; Bayerisches Staatsministerium, 2016; CETE Lyon, 2012; Dietz et al., 2015; DREAL Grand Est, 2021; DREAL Normandie, 2023; Erlass zum Artenschutz in Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen (AGW-Erlass), 2023; Gemeinsamer Runderlass des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucher schutz und des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen, 2021; Leitfaden „Umsetzung des

Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in NRW - Modul A“, 2024; *Leitfaden Umsetzung des Artenschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Niedersachsen*, 2016; *Everaert et al.*, 2025; *Gessner Landschaftsökologie*, 2023; *Hommersen & Limpens*, 2024; *Kepel*, 2024; *Kepel et al.*, 2013; *LUBW*, 2014; *LUNG MV*, 2016; *Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Um welt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (MELUND) et al.*, 2017; *Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt*, 2018; *NABU Landesverband Berlin*, 2023; *Richarz et al.*, 2012, 2013; *SPW ARNE*, 2024; *Suisse éole*, s. d.)

En résumé :

Le grand murin n’est pas considéré comme une espèce rédhibitoire pour les projets éoliens dans les pays étudiés, à l’exception de la Wallonie.

Dans les 27 guides de référence pour la prise en compte de la biodiversité dans les projets éoliens que nous avons trouvés, le grand murin est généralement considéré comme faiblement sensible au risque de collision et comme pouvant dans certains cas être sensible à l’effarouchement selon plusieurs guides allemands (perturbation possible des sites de reproduction et de repos surtout en forêt et perturbation des zones de chasse).

3.2. Analyse de l'impact des éoliennes sur un échantillon de colonies de grand murin à travers la zone d'étude

3.2.1. Analyses statistiques

3.2.1.1 Approche globale (modèles mixtes)

La construction du modèle mixte destiné à analyser l'évolution démographique des colonies est décrite ci-dessous : à partir d'un modèle simpliste qui différencie les colonies (M_0: ID comme facteur aléatoire), on complexifie progressivement le modèle en ajoutant les termes (aléatoires en bleu et fixes en mauve) que l'on souhaite analyser pour retenir celui qui explique le mieux la variance totale. Le modèle M_3a contient les variables que l'on souhaite étudier. D'autres modèles alternatifs M_3c (intégration d'un terme quadratique pour rechercher une possible non-linéarité de la réponse au nombre de turbines) et M_3b (pour intégrer d'éventuels phénomènes globaux liés à l'année mais non dépendants des colonies) ont été testés mais ceux-ci n'améliorent pas la qualité du modèle et n'ont donc pas été retenus car ils complexifient inutilement le modèle et son interprétation.

```
M_0: Nsmooth ~ (1 | ID)
M_1: Nsmooth ~ Y0 + (1 | ID)
M_2: Nsmooth ~ Y0 + (Y0 | ID)
M_3a: Nsmooth ~ NbTur * Y0 + For.Type + For.Connectivity + PC.Agric
      + PC.Forest + PC.Anthropic + For.Loss + ALT + (Y0 | ID)
M_3b: Nsmooth ~ NbTur * Y0 + YEARcentered + For.Type +
      For.Connectivity + PC.Agric + PC.Forest + PC.Anthropic +
      For.Loss + ALT + (Y0 | ID)
M_3c: Nsmooth ~ (NbTur + I(NbTur^2)) * Y0 + For.Type +
      For.Connectivity + PC.Agric + PC.Forest + PC.Anthropic +
      For.Loss + ALT + (Y0 | ID)
```

| | Df | AIC | BIC | logLik | deviance | Chisq | Chi | Df | Pr(>Chisq) |
|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------|-----|-----------|----------------------|
| M_0 | 3 | 69679 | 69699 | -34837 | 69673 | | | | |
| M_1 | 4 | 69590 | 69617 | -34791 | 69582 | 91.2096 | | 1 | < 2.2e-16 *** |
| M_2 | 6 | 66729 | 66769 | -33358 | 66717 | 2865.5013 | | 2 | < 2.2e-16 *** |
| M_3a | 16 | 66704 | 66811 | -33336 | 66672 | 44.2503 | | 10 | 2.968e-06 *** |
| M_3b | 17 | 66706 | 66819 | -33336 | 66672 | 0.7209 | | 1 | 0.39586 |
| M_3c | 18 | 66705 | 66825 | -33334 | 66669 | 2.8087 | | 1 | 0.09375 . |

Interprétation de la comparaison des modèles M_0, M_1, M2 et M_3

La colonie (ID) et l'année (Y0) expliquent une part importante de la variance c.-à-d. les fluctuations importantes dans l'espace et le temps.

L'ajout des variables environnementales et des nombres de turbines permettent de retenir le modèle M_3a (mais pas d'effet 'année centrée' ni du terme quadratique NbTur).

Interprétation du résultat du modèle M_3a

Les valeurs chiffrées ci-dessous correspondent aux coefficients des différentes variables fixes que l'on étudie. La pente de la relation individuelle de ces variables à la réponse numérique (le nombre d'individus dans les colonies) est donnée par '*Estimate*' et sa capacité à



réellement expliquer une part de la variabilité du jeu de données est donnée par la probabilité ' Pr ' de rejet de l'hypothèse nulle (H_0 : absence de relation).

| | Estimate | Std. Error | z value | Pr(> z) | |
|-------------------------|-------------------|------------------|---------------|-----------------|------------|
| (Intercept) | 1.099e+01 | 1.448e+00 | 7.590 | 3.21e-14 | *** |
| NbTur | -1.405e-03 | 4.111e-03 | -0.342 | 0.73253 | |
| Y0 | 9.824e-03 | 3.285e-03 | 2.991 | 0.00278 | ** |
| For.TypeConiferous | -1.154e-01 | 1.336e-01 | -0.864 | 0.38778 | |
| For.TypeMixed | 1.834e-01 | 2.501e-01 | 0.733 | 0.46350 | |
| For.Connectivity | -5.589e-02 | 1.705e-02 | -3.279 | 0.00104 | ** |
| PC.Agric | -8.185e-03 | 5.923e-03 | -1.382 | 0.16704 | |
| PC.Forest | -5.940e-03 | 5.973e-03 | -0.994 | 0.32004 | |
| PC.Anthropic | -7.911e-02 | 1.369e-02 | -5.777 | 7.61e-09 | *** |
| For.Loss | 1.595e-02 | 1.790e-02 | 0.892 | 0.37265 | |
| ALT | -3.495e-04 | 2.868e-04 | -1.219 | 0.22300 | |
| NbTur:Y0 | -5.113e-05 | 1.563e-04 | -0.327 | 0.74359 | |

Interprétation écologique

Le nombre de turbines éoliennes dans un rayon de 10 km n'est associé ni à la taille des colonies de chauves-souris ni à leurs tendances temporelles.

Les tendances des populations de chauves-souris sont davantage déterminées par le temps et par les variables d'habitat :

- Y0 : effet positif hautement significatif (voir Figure 8 pour la localisation géographique des tendances à la hausse ou à la baisse)
- For.Connectivity : effet négatif hautement significatif
- PC.Anthropic : effet négatif très hautement significatif

Ces effets semblent plus forts que les effets des turbines. L'interprétation de Y0 (évolution au cours du temps) est claire : **les populations ont une tendance à la hausse** puisque le nombre d'individus (Nsmooth) augmente avec le temps, qui augmente nécessairement comptage après comptage.

Comme interprétation des deux autres variables environnementales "statiques" (une seule donnée par colonie), on pourrait déduire que **les grosses colonies se trouvent dans les zones moins urbanisées et/ou en milieu forestier plus bocager, à couverture forestière non-uniforme**. A contrario, les colonies situées en région fortement urbanisée ou en grands massifs forestiers seraient moins peuplées. Ceci correspond bien aux caractéristiques écologiques de l'espèce. On ne doit toutefois pas négliger que ces deux variables soient corrélées à d'autres facteurs confondants qui n'ont pas été inclus dans le modèle.

Interprétation de l'effet éolien

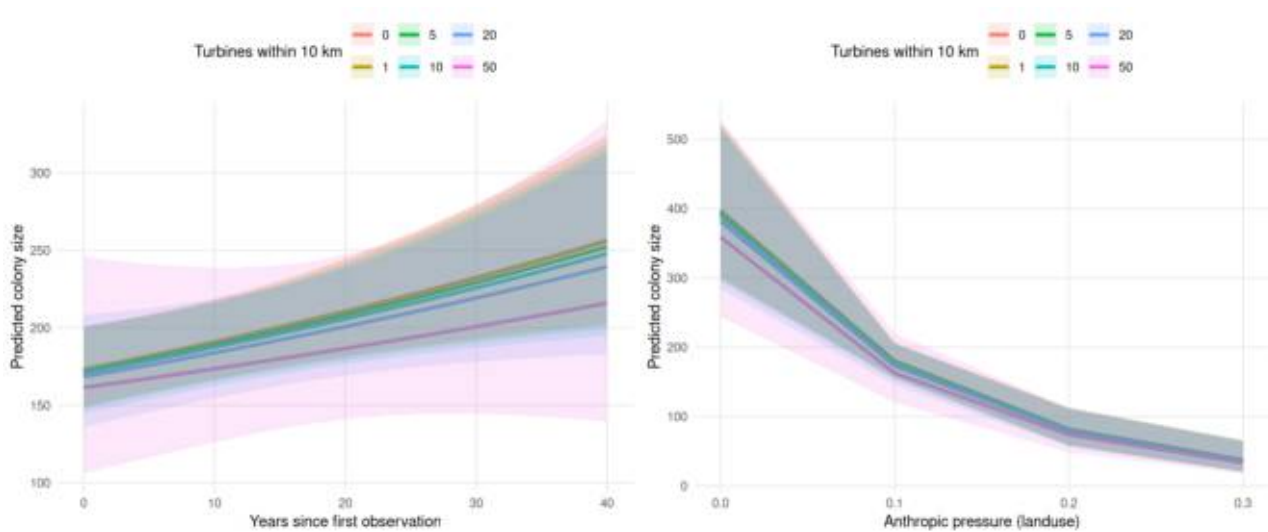
Ces valeurs nous indiquent qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de turbines sur les tendances des populations, car :

- L'interaction NbTur:Y0 n'est pas significative.
- Pas d'effet détectable sur la taille de la colonie
- Pas d'effet détectable sur la tendance de la population

Sur les graphiques 9 et 10, les prédictions témoignent d'une tendance suggérée par le signe de la pente de NbTur et de NbTur : Y0, à savoir que dans un scénario de très forte densité d'éoliennes, la croissance démographique pourrait être amoindrie, et ce d'autant plus que les années passent. Cette observation, visible seulement à partir d'une densité de plus de 50 turbines dans un rayon de 10 km autour de la colonie, doit être considérée avec la plus



grande prudence car les p-valeurs des tests ($=0.7$) indiquent que ces extrapolations pourraient également relever du pur hasard (autrement dit la tendance inverse pourrait être tout aussi vraie !).



Graphique 9 : Prédiction modélisée de l'évolution d'une population de grand murin au cours du temps, selon différents scénarii de densités de turbines dans un rayon de 10 km.

Graphique 10 : Prédiction modélisée des effectifs d'une population de grand murin au selon un gradient théorique de pression anthropique (pourcentage du paysage occupé par des habitats anthropisés), selon différents scénarii de densités de turbines dans un rayon de 10 km.

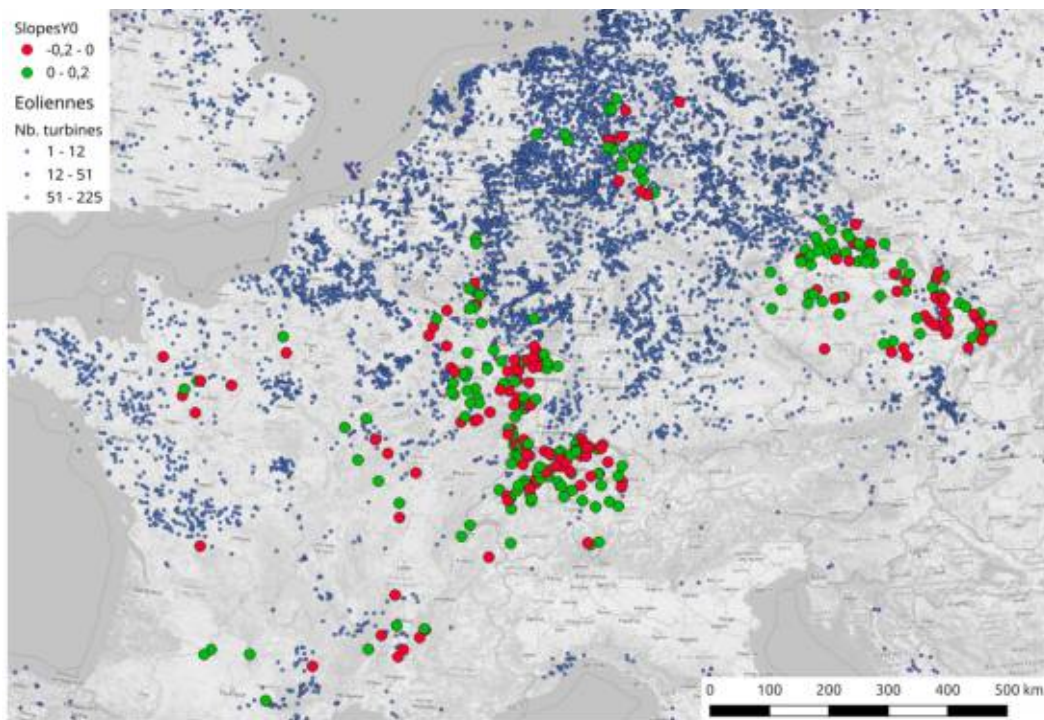


Figure 8 : Carte localisant les 330 colonies du GLMM. La couleur des points indique si la tendance des effectifs au cours du temps est positive (croissance de la population, en vert) ou négative (décroissance, en rouge). Les points en nuance de bleu sont les centroïdes des parcs éoliens (toutes les données).

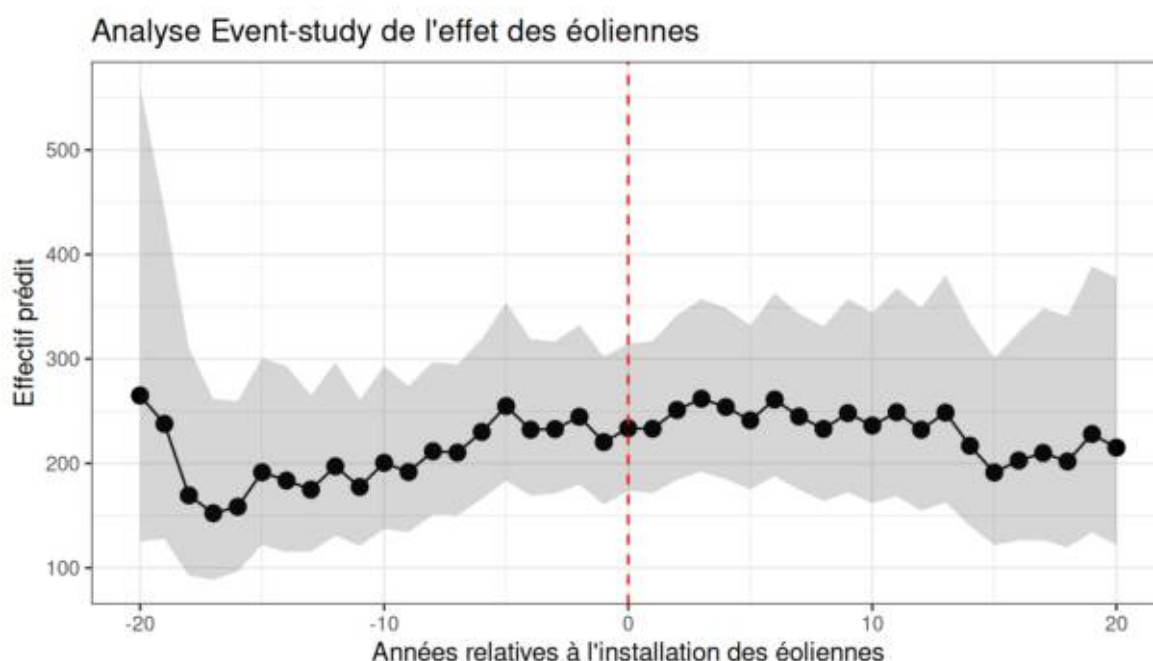
On a construit un GLMM solide contenant les termes étudiés : nombre de turbines et année (avec leur interaction). Celui-ci met en évidence que les effectifs des colonies progressent positivement avec le temps ($p = 0.003$) mais ne sont pas influencés par le nombre de turbines (NbTur:Y0, N.S.).

3.2.1.2 Before-After

En seconde approche, nous avons voulu vérifier et confirmer les résultats de l'analyse globale. On a comparé les 46 colonies sélectionnées parmi les 330 du point de vue de la valeur moyenne des effectifs (test sur les valeurs log-transformées) avant et après apparition des premiers parcs éoliens, ainsi que du point de vue de la tendance démographique avant vs après.

Cette approche a pour but :

- de vérifier quelle est la tendance d'évolution démographique des colonies avant l'apparition d'éoliennes (dans les 10 km de tampon) ;
- de comparer si cette tendance (la pente du modèle) change après le temps 0, qui correspond à l'apparition d'au moins un parc éolien dans un rayon de 10 km et si le nombre d'éoliennes a une influence sur cette pente post-installation ;
- de comparer l'effectif global avant et après cet événement.

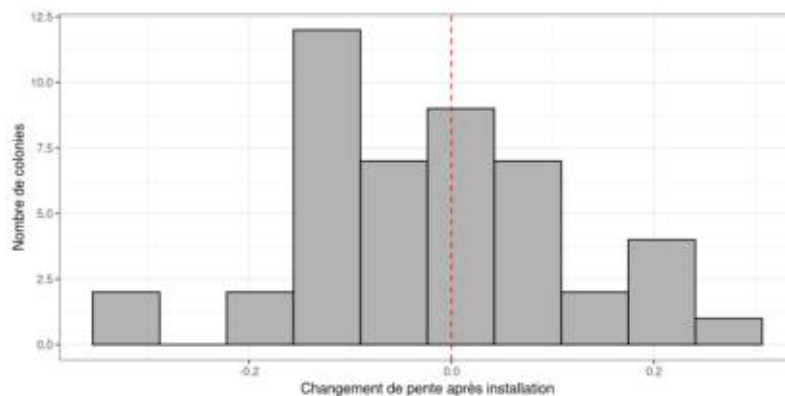


Graphique 11 : Prédictions sur base d'un modèle linéaire simple $\log(N) \sim \text{temps}$ après centrage des échelles de dates sur 0, moment de l'installation d'un parc éolien dans le tampon de 10 km de rayon autour des colonies.

La tendance globale à l'augmentation faible mais statistiquement significative des populations (point 3.2.1.1) est visible sur le graphique 11 qui représente les prédictions

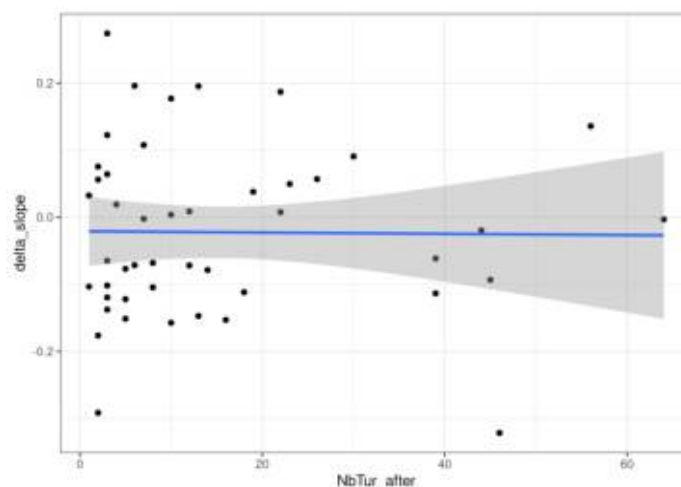
d'un modèle simple des effectifs au cours du temps, sur une échelle temporelle commune centrée sur l'année d'apparition d'éoliennes.

L'impression visuelle est objectivée lorsque l'on compare les pentes de chaque colonie de manière appariée (avant vs après). **Il n'y a pas de changement de pente significatif après l'installation des éoliennes** (Test exact de Wilcoxon, $V = 425$, $p = 0.211$), ce qui suggère que les tendances temporelles des colonies ne sont pas systématiquement modifiées par l'apparition des éoliennes. Cette absence de différentiel est présentée sur le graphique 12 (et carte de la figure 9) qui trace un histogramme des "pente après" moins les "pente avant" dont la moyenne vaut -0.022 , ce qui signifie que la croissance de population "après" est très légèrement plus faible qu'avant, mais de manière non significative.



Graphique 12 : Distribution de la différence, pour chacune des 46 colonies, entre la pente avant et après apparition d'éoliennes. Test exact de Wilcoxon : $V = 425$, $p = 0.211$)

On ne peut pour autant pas conclure qu'il y aurait un effet, non significatif, de la présence d'éoliennes sur la pente "après" mais plutôt d'un effet global non déterminé car cette légère inflexion de la pente est totalement constante quelle que soit la densité de turbines présentes (Graphique 13). Un effet des éoliennes devrait logiquement être dépendant de leur densité mais la relation $\text{delta_slope} \sim \text{NbTurb}$ est complètement horizontale (la pente est nulle; non testé).



Graphique 13 : Relation entre la différence de pentes avant - après installation d'éoliennes et le nombre de turbines présentes dans le rayon de 10 km autour des colonies, c'est-à-dire l'inflexion de la tendance de chacune des populations après l'événement T0 d'implantation d'éoliennes.

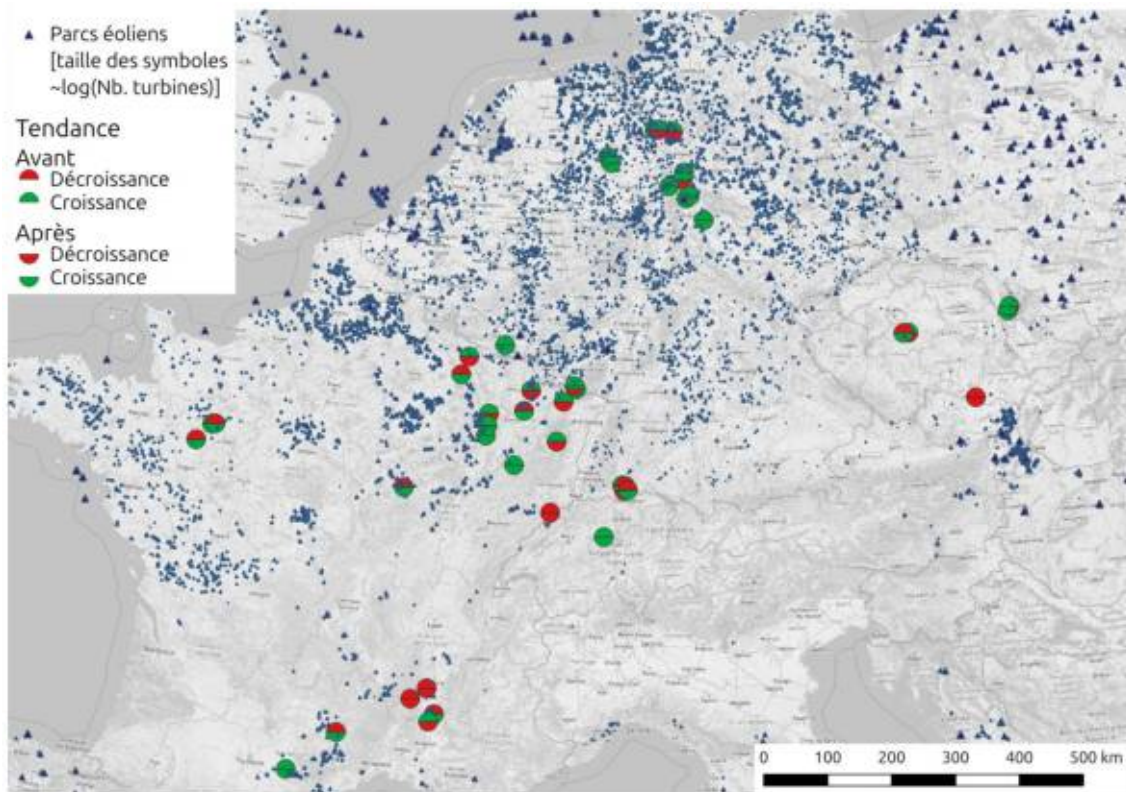
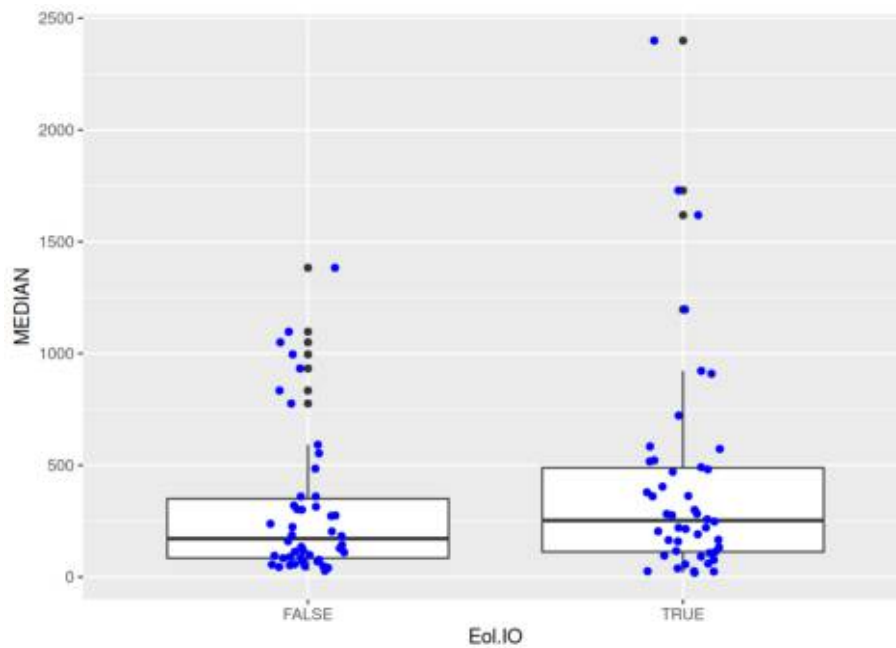


Figure 9 : Carte localisant les 46 colonies de l'analyse "avant-après" (voir texte). La couleur des points indique si la tendance des effectifs au cours du temps est positive (croissance de la population, en vert) ou négative (décroissance, en rouge). Les symboles bleus sont les centroïdes des parcs éoliens (taille proportionnelle au nombre de turbines, log-transformé).

En termes de nombre absolu moyen durant la période "avant" comparée à "après", on retrouve l'augmentation non-significative (Test t apparié : $t = 1.4576$, $df = 45$, $p\text{-value} = 0.1519$; Graphique 14) d'effectifs qui est vraisemblablement liée à une légère augmentation globale avec le temps.



Graphique 14 : Distribution des effectifs avant (*Eol.IO* = FALSE) et après (*Eol.IO* = TRUE) apparition des premières éoliennes près des colonies. Chaque point correspond à la valeur médiane de la série avant ou après. Le graphique représente la boîte à moustache de ces deux distributions : le rectangle contient 50 % des données et la barre centrale la médiane; les points noirs mettent en exergue les valeurs extrêmes (outliers).

En étudiant des colonies pour lesquelles on a suffisamment de données pour comparer les tendances avant et après installation d'éoliennes, on n'identifie pas d'effet de celles-ci. Tout au plus une légère inflexion de la pente non statistiquement significative. Les tendances post-installation de parcs éoliens ne sont pas corrélées au nombre de turbines. La tendance globale à la hausse des populations se traduit par des effectifs faiblement (et de manière non-significative) supérieurs pour la période post-installation.

3.3. Analyse supplémentaire - Étude temporelle des changements d'occupation du sol

Pour rappel, l'objectif des modèles est d'étudier un effet temporel du changement de l'occupation du sol sur la probabilité de croissance des colonies de grand murin. L'utilisation de deux modèles binomiaux permet de considérer l'effet respectif de chaque variable environnementale, sans nuire à leurs estimations propres à cause des corrélations présentes de par la nature des données (voir partie 2.4.3). En outre, une ACP permet de considérer ensemble toutes les variables (mais sans distinction de leur effet respectif) pour observer l'interaction entre les deux variables corrélées, l'objectif étant de vérifier si elles agissent sur le même plan (transformation de l'une vers l'autre) ou non (transformation via d'autres habitats).

3.3.1. Modèle Binomial - Évaluation des effets singuliers des variables

Les résultats des deux modèles présentés ci-dessous révèlent tous deux des effets significatifs. En outre, les intercepts des deux modèles sont significatifs (CI : 0.09-0.73; p-value = 0.011), ce qui indique qu'en conditions moyennes des variables environnementales, la **probabilité**³ de croissance positive d'une colonie est d'environ 60%⁴. Ces résultats confirment les analyses principales de ce rapport où une croissance globale des colonies est observée (voir partie 3.2.1.1).

| Characteristic | GLMM 1 | | | GLMM 2 | | |
|--------------------------------|----------|--------------|--------------|----------|------------|--------------|
| | log (OR) | 95% CI | p-value | log (OR) | 95% CI | p-value |
| (Intercept) | 0.41 | 0.09-0.73 | 0.011 | 0.41 | 0.09-0.72 | 0.011 |
| net_ForestSemi-Natural | 0.11 | -0.09-0.31 | 0.3 | 0.14 | -0.05-0.34 | 0.2 |
| lag_ForestSemi-Natural | -0.12 | -0.31-0.07 | 0.2 | -0.01 | -0.19-0.16 | 0.9 |
| net Urban | -0.09 | -0.27-0.08 | 0.3 | | | |
| lag Urban | -0.28 | -0.47- -0.09 | 0.004 | | | |
| net Agriculture-Pasture | | | | 0.08 | -0.09-0.25 | 0.4 |
| lag Agriculture-Pasture | | | | 0.27 | 0.09-0.45 | 0.003 |

Tableau 9 : Résultats des deux modèles GLMM1 et GLMM2. Abréviations : CI = Confidence Interval, OR = Odds Ratio

En ce qui concerne le modèle GLMM 1, on observe un effet significatif négatif d'un délai de l'urbanisation sur la probabilité de croissance des colonies. Autrement dit, **plus des zones ont été urbanisées lors de la période (de 6 ans) précédente, plus la probabilité qu'une colonie croisse positivement diminue**. Plus spécifiquement, selon les prédictions du modèle, une augmentation de 0.32 km² (1 écart-type) de couverture urbaine (dans un rayon de 10 km autour de la colonie) conduit à une diminution de la probabilité de croissance d'environ 6.6% (voir figure 10 A). Les autres variables ne présentent aucun signe significatif.

En ce qui concerne le modèle GLMM 2, on observe un effet significatif positif d'un délai de l'agriculture et les pâtures sur la probabilité de croissance des colonies. Autrement dit, plus des zones ont été transformées en pâtures ou zones agricoles lors de la période précédente,

³ correspondant donc à la probabilité que la colonie soit dans l'état "croissance positive"

⁴ calculé conformément au modèle GLMM binomial comme $p = e^{0.41}/(1+e^{0.41})$

plus la probabilité qu'une colonie croisse positivement augmente. Plus spécifiquement, selon les prédictions du modèle, une augmentation de 0.32km^2 (1 écart-type) de couverture agricole et de pâturage (dans un rayon de 10 km autour de la colonie) conduit à une augmentation de la probabilité de croissance d'environ 5.8% (voir figure 10 B). Les autres variables ne présentent aucun signe significatif.

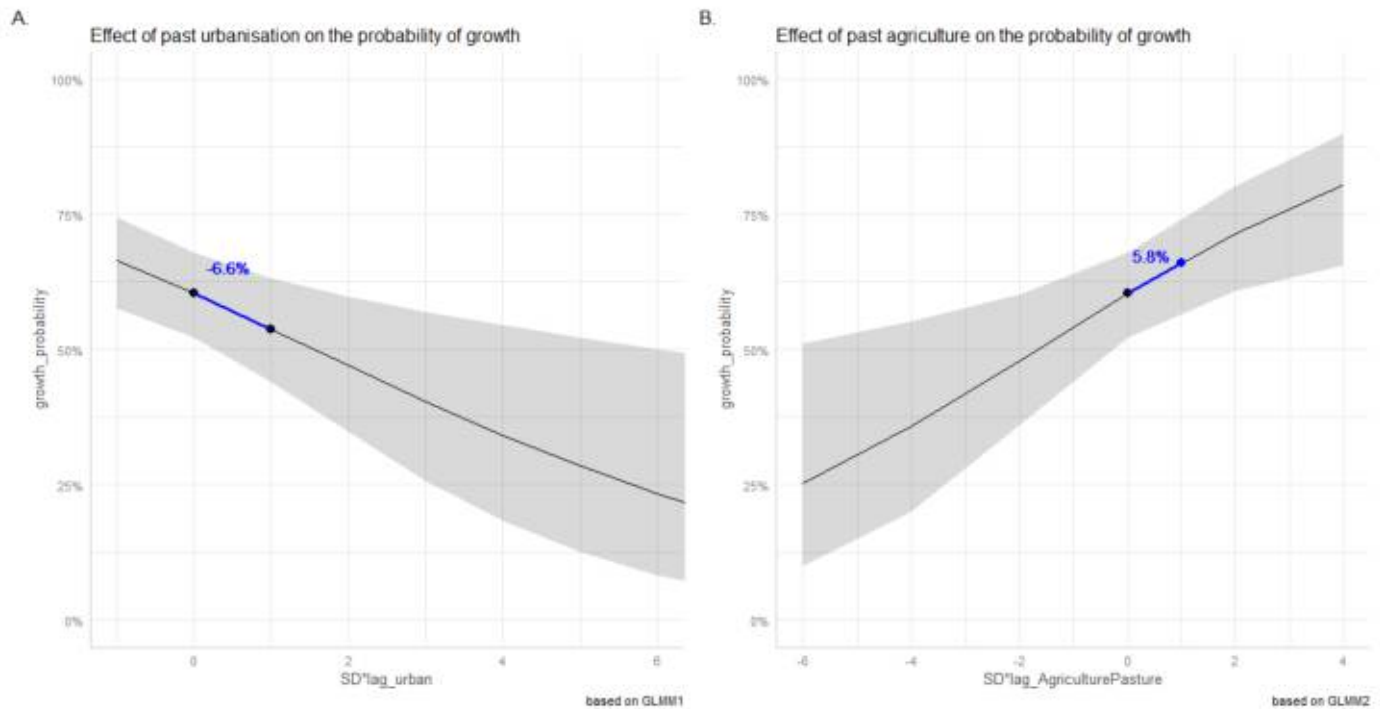


Figure 10 : Prédiction des effets significatifs des modèles étudiés. A. Effet du lagged-effect de l'urbanisation (modèle GLMM1), B. Effet du lagged-effect de l'agriculture/pâturage. L'effet d'un changement d'un écart type (SD) de la variable considérée sur la probabilité de croissance est annoté en bleu sur la figure.

En réalité, cette relation positive entre la tendance des colonies et les modifications de surface d'agriculture et de pâtures peut être comprise dans l'autre sens : **plus on constate de pertes de pâtures et de zones agricoles lors de la période précédente, plus la probabilité qu'une colonie diminue est forte.**

3.3.2. ACP - Vérification du lien entre l'urbanisation et la perte des habitats agricoles

Le caractère opposé des effets observés de ces deux modèles (un effet négatif de l'urbanisation et un effet positif des zones agricoles) suggère une forte structuration commune de ces variables. L'hypothèse principale serait que la diminution des terres agricoles observée est liée à l'augmentation de l'urbanisation. Pour vérifier cette hypothèse, l'utilisation d'une ACP a pour objectif de mettre en évidence si les deux variables significatives lag_Urban et lag_AgriculturePasture sont résumées sur la même dimension. Le cas échéant, cela présagerait que les résultats des deux GLMM sont le miroir d'un même phénomène de la transformation de terre agricole en zone urbanisée. À l'inverse, c'est que d'autres habitats ou facteurs environnementaux sont impliqués dans les résultats respectifs de chacun de nos modèles.

Les résultats montrent que l'ACP capte une bonne partie de l'inertie (~80% avec les 3 premiers axes), c'est-à-dire de la capacité de l'ACP à capturer la distribution multi-dimensionnelle des points (figure 11 A). Par ailleurs, on peut également observer la représentativité (appelé le cos2) de chaque variable et colonie (figures 11 B et 11 C respectivement) où les variables relatives à l'urbanisation et à l'agriculture/pâturage (effets nets périodiques ou avec effet retard) sont très bien représentés selon les deux premiers axes (65.4% d'inertie). Les variables relatives aux forêts et milieux semi-naturels sont moins bien représentées selon les 2 premiers axes. La figure 11 D confirme ce diagnostic avec une forte contribution des effets-retard de la variable d'urbanisation et de l'agriculture/pâturage sur la dimension 1. La dimension 2 est plutôt caractérisée par les effets nets de l'urbanisation et de l'agriculture/pâturage.

Les résultats du GLMM montrent un effet significatif de l'intercept (tableau 10) qui équivaut à la probabilité de croissance de 60%, défini dans les modèles GLMM1 et GLMM2, quand toutes les variables environnementales ont des valeurs moyennes. Les résultats montrent en particulier que la première dimension a un effet positif avec un log(OR) de 0.19 correspondant une augmentation de 4.2% sur la probabilité de croissance. En sachant que cet axe est presque exclusivement composé des variables lag_Urban et lag_AgriculturePasture (figure 11 D), ce résultat nous permet de consolider l'hypothèse selon laquelle ces deux variables sont liées via la transformation du paysage. En d'autres termes, **l'urbanisation prend vraisemblablement l'espace des pâtures et des zones agricoles**. Les variables significatives des modèles GLMM1 et GLMM2 ne sont donc a priori pas des résultantes de transformation d'autres habitats.

| Characteristic | log(OR) | 95% CI | p-value |
|--------------------|---------|-------------|--------------|
| (Intercept) | 0.41 | 0.08, 0.74 | 0.013 |
| PC1 | 0.19 | 0.07, 0.31 | 0.003 |
| PC2 | 0.02 | -0.11, 0.14 | 0.8 |
| PC3 | 0.01 | -0.15, 0.17 | 0.9 |

Tableau 10 : Résultats du modèle GLMM ACP. Abréviations : CI = Confidence Interval, OR = Odds Ratio

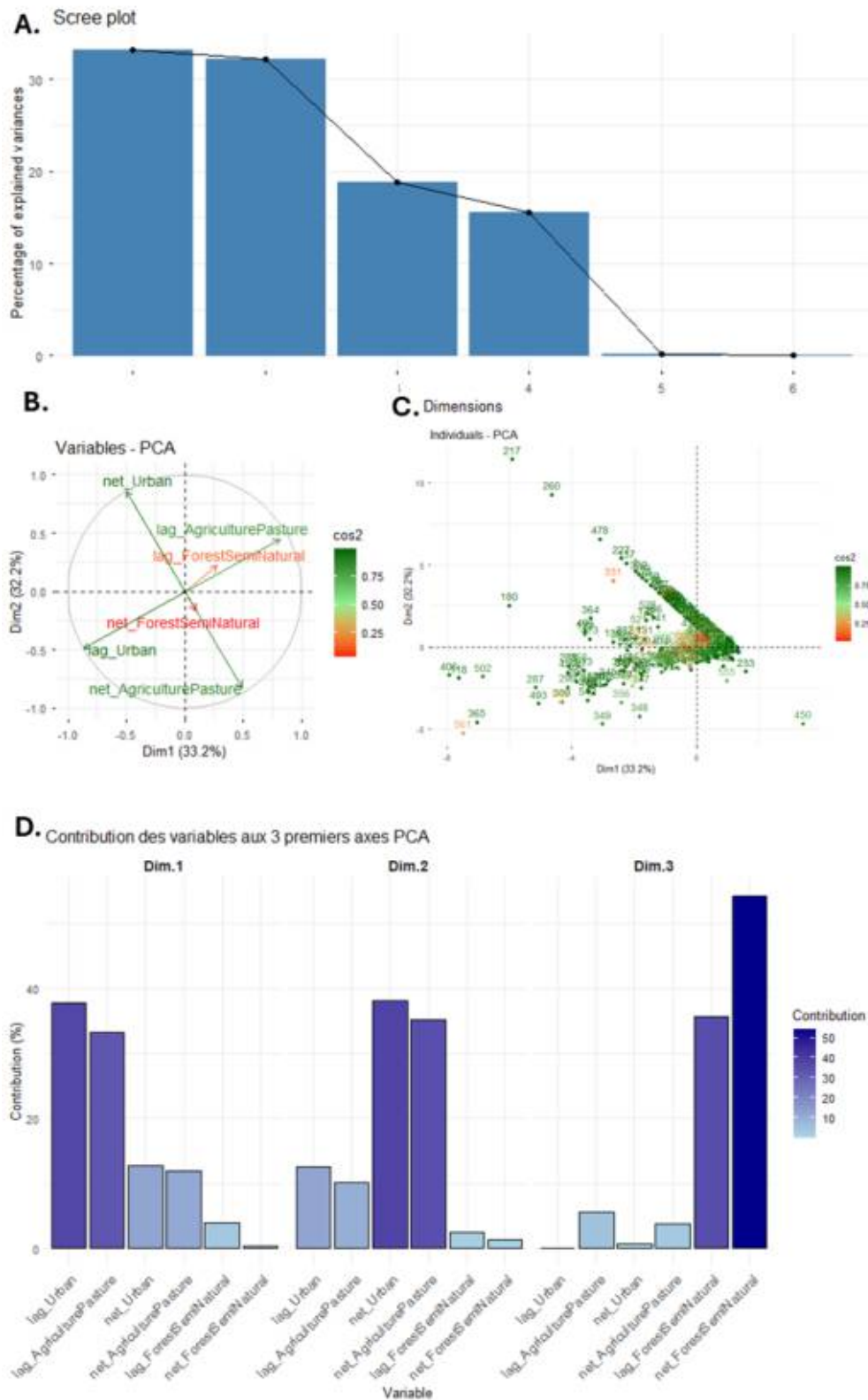


Figure 11 : Résultats de l'ACP. A. Contribution de chaque dimension à la variance totale (inertie); B. Représentativité des différentes variables selon les deux premières dimensions; C. Représentativité des différentes colonies x périodes selon les deux premiers axes; D. Contribution de chaque variable aux 3 premiers axes de l'ACP.

3.3.3. Conclusions et interprétation écologique

L'analyse des changements temporels de l'occupation du sol met en évidence qu'il existe un lien significatif entre la dynamique des populations et les transformations du paysage, mais surtout à leurs effets différés dans le temps plutôt qu'à leurs effets immédiats.

D'une part, les résultats confirment une tendance globale à la croissance des colonies, avec une probabilité moyenne d'environ 60 % d'observer une augmentation des effectifs dans des conditions environnementales moyennes.

D'autre part, les modèles révèlent que les changements environnementaux n'agissent pas instantanément, mais avec un décalage temporel significatif. En particulier, une augmentation théorique différée de l'urbanisation réduit significativement la probabilité de croissance des colonies. En parallèle, une diminution théorique différée des surfaces agricoles et de pâturage est également associée à une baisse de cette probabilité de croissance des colonies. En réalité, ces deux processus reflètent vraisemblablement un même gradient de transformation du paysage où la conversion de terres agricoles en zones urbanisées constitue un processus structurant majeur. L'analyse en composantes principales (ACP) confirme cette lecture en montrant que ces variables sont fortement organisées le long d'un axe commun, capturant une part considérable de la variabilité environnementale.

Enfin, l'absence d'effet significatif des milieux forestiers et semi-naturels suggère que, dans ce contexte, les dynamiques des populations sont davantage influencées par les transformations anthropiques du paysage que par les variations de ces habitats.

En résumé, l'analyse des changements temporels de l'occupation du sol met en évidence un effet significatif négatif différé d'une urbanisation ainsi qu'un effet significatif positif différé d'une augmentation des zones agricoles et de pâturage sur la probabilité de croissance des colonies de grand murin. Ces deux processus reflètent vraisemblablement une même évolution du paysage où des terres agricoles sont converties en zones urbanisées.



Partie 4 : Discussion et Conclusion

4. Discussion et conclusion

4.1. Discussion

L'ensemble des analyses développées dans ce rapport a pour but de répondre à 5 questions, sur lesquelles nous allons revenir ici.

- **Question 1 : quel est le statut du grand murin en Europe ?**
- **Question 2 : comment cette espèce est-elle considérée dans le développement éolien en Europe et quelles menaces pèsent sur elle ?**

Le benchmark réalisé permet d'avoir une image assez large et précise de l'état des populations de grands murins en Europe et de comment les différents experts évaluent le risque posé par le développement éolien sur cette espèce.

Il apparaît d'abord que l'espèce n'est pas jugée comme menacée à l'échelle de l'Europe (statut LC = *least concern* ou *préoccupation mineure*), mais que son état de conservation n'est pas pour autant jugé favorable. L'évaluation de l'état de conservation implique une série d'analyses intermédiaires dans chaque pays auxquelles nous n'avons pas eu accès, nous ne pouvons donc qu'émettre des hypothèses pour expliquer ces évaluations. Au vu du déclin historique marqué des populations de chauves-souris au milieu du 20^{ème} siècle, il semble probable que les critères d'aire de répartition (*range*) et taille de *population* (cf partie 2.2.2.) ne soient pas remplis pour atteindre l'état favorable, car les populations actuelles et leur "range" seraient considérés comme inférieures à des valeurs dites "de référence". Cette perspective historique est discutée en détail plus loin.

Concernant l'éolien, nous n'avons trouvé aucune indication dans les Listes Rouges ou les guides de référence suggérant qu'il s'agisse d'une menace pour l'espèce, que ce soit à l'échelle des régions, des pays ni même des régions biogéographiques de l'Europe. La possibilité qu'un parc éolien induise un effet de dégradation de sites de repos, de sites de reproduction ou d'habitats de chasse est néanmoins évoquée dans plusieurs guides allemands. La position du SPW-ARNE en Wallonie concernant le grand murin et l'éolien (espèce rédhibitoire) semble donc particulièrement prudente. Rappelons ici que cette prudence pourrait être justifiée par plusieurs éléments, dont des études récentes qui montrent que l'activité acoustique des murins (toutes espèces confondues) peut baisser de l'ordre de 50 % à proximité d'éoliennes en comparaison avec un niveau d'activité de référence mesuré à plus de 400 m (Barré et al., 2018; Ellerbrok et al., 2022). Aucune étude précise sur le grand murin n'a cependant été trouvée dans la littérature. Concernant les autres menaces, les informations trouvées dans les guides de référence sont plutôt succinctes. Nous en discutons plus bas à la lumière d'autres sources.

- **Question 3 : la présence d'éoliennes a-t-elle une influence sur les colonies de grand murin (effectif et tendances) ?**
- **Question 4 : les tendances des colonies changent-elles une fois que des éoliennes sont construites ?**
- **Question 5 : l'évolution temporelle de l'occupation du sol explique-t-elle les tendances de populations ?**

L'analyse des données récoltées sur 330 colonies entre 1985 et 2024 réparties dans 6 pays a fourni des résultats intéressants concernant ces trois questions.

Effet des éoliennes

Les tendances des colonies étudiées varient fortement d'une colonie à l'autre, celles ayant une taille initiale plus importante tendent à présenter une croissance ou un déclin plus lent (cf corrélation négative entre la pente et l'intercept aléatoires), mais la densité des éoliennes n'explique pas ces changements. La taille des colonies présente une tendance temporelle positive et faible mais significative ($\beta = 0,0098 \pm 0,0033$ SE, $p = 0,0028$), correspondant à une augmentation moyenne d'environ 1 % par an. Le nombre d'éoliennes dans un rayon de 10 km n'a aucun effet détectable sur la taille des colonies ($\beta = -0,0014 \pm 0,0041$ SE, $p = 0,73$) ni sur les tendances de population au fil du temps (interaction NbTur \times Y0 : $\beta = -0,00005 \pm 0,00016$ SE, $p = 0,74$). Parmi les covariables environnementales, la taille des colonies est négativement associée à la connectivité forestière ($\beta = -0,0559 \pm 0,0171$ SE, $p = 0,001$) et à la proportion anthropisée du paysage ($\beta = -0,0791 \pm 0,0137$ SE, $p < 0,001$).

Nos résultats de comparaison avant et après installation d'éoliennes n'ont pas identifié un effet significatif de celles-ci (Test exact de Wilcoxon avec $V = 425$, $p = 0.211$). De plus, il a été constaté que les tendances démographiques des colonies suite à l'installation de parcs éoliens ne sont pas corrélées au nombre de turbines. En revanche, au niveau général, on observe une légère augmentation des populations pendant la période post-installation, mais ce phénomène est faible et non significatif.

Cette absence d'effet significatif des éoliennes est cohérente avec la vision selon laquelle l'espèce est peu sensible à l'éolien (que ce soit au risque de collision ou de dégradation des habitats par effarouchement), exprimée dans la majorité des guides sur la prise en compte de la biodiversité dans les projets éoliens que nous avons pu consulter. Cette double analyse converge donc vers la conclusion que le développement éolien historique en Europe n'a pas impacté les colonies de l'espèce. Il semble donc peu probable que la poursuite de ce développement soit une menace pour les populations européennes de l'espèce. La proportion particulièrement faible de cadavres de grand murin trouvés dans les études de mortalité éolienne (Dürr, 2026), couplée à une altitude de vol majoritairement en-dehors des zones balayées par les pales (Nyssen, 2023) permettent d'affirmer que l'enjeu pour le grand murin en termes de mortalité directe est extrêmement réduit. En ce qui concerne l'impact indirect, il est difficile de dire, à la lumière de nos résultats, si l'effet d'effarouchement décrit récemment dans la littérature est relativement faible chez le grand murin par rapport à d'autres espèces de murins, ou si cet effet existe mais n'a pas d'incidence sur la croissance des colonies.

Autres facteurs pouvant expliquer pourquoi certaines colonies croissent et d'autres déclinent

Bien que la majorité des colonies étudiées soient en croissance (194 en croissance contre 136 en décroissance), certaines déclinent et il est intéressant de s'interroger sur les causes possibles de ce déclin si l'éolien n'en est pas responsable. Rappelons d'abord que cette croissance majoritaire des colonies sur la période 1985-2024 n'est pas le reflet d'une tendance constante depuis plusieurs siècles. Les populations européennes de chauves-souris ont connu un déclin important au cours du siècle dernier et l'aire de répartition de certaines

espèces s'est considérablement réduite (Browning et al., 2021; Kervyn et al., 2009). La croissance actuelle des populations de grand murin est interprétée comme le début d'un processus de lent rétablissement des populations après ce déclin (Petrov et al., 2018). La comparaison en Wallonie des effectifs hivernaux du grand murin dans 58 gîtes entre la période 1939-1952 (387 individus) et la période 1995-2008 (23 individus) illustre bien que le rétablissement complet n'est pas encore atteint (Kervyn et al., 2009). Pour information, les derniers recensements hivernaux pour tous les gîtes wallons (pas uniquement les 58 gîtes de l'étude précédente) arrivent à un total de plus de 1.100 grands murins pour l'hiver 2023-2024.

Plusieurs causes ont été évoquées pour expliquer le déclin historique des chauves-souris au milieu du 20^{ème} siècle : dérangement dans les gîtes d'hiver, mortalités importantes suite à des opérations de baguage inappropriées, déclin massif des insectes proies, dégradation des habitats par la pollution lumineuse, collisions avec les véhicules, ou encore accès de plus en plus limité à de vastes combles attractifs comme gîte de maternité (Kervyn et al., 2009). Concernant spécifiquement le grand murin, l'usage massif de pesticides comme le DDT dans l'agriculture et la sylviculture a aussi été évoqué, de même que le traitement des charpentes par un produit très toxique, le lindane (C. Dietz, 2009).

Concernant les colonies qui sont en déclin sur la période d'étude (1985-2024), notre analyse des effets de l'évolution de l'occupation du sol a fourni des éléments de réponse intéressants. Les résultats montrent, d'une part, un effet négatif significatif de l'urbanisation de la période précédente (effet de décalage temporel ; *lagged-effect*) sur la probabilité de croissance de la période étudiée (CI = -0.47- -0.09; p= 0.004) et, d'autre part un effet positif significatif des zones agricoles et de pâturage de la période précédente sur cette même probabilité de croissance (CI = 0.09-0.45; p=0.003). Ces deux tendances révèlent très probablement un seul et même phénomène de transformation du paysage, avec une urbanisation qui remplace les zones agricoles et de pâture.

L'urbanisation pourrait directement impacter une colonie par le fait qu'elle réduit les habitats disponibles pour la chasse, ou par le fait que l'étalement urbain pourrait déconnecter des colonies de leurs zones d'alimentation, notamment via la pollution lumineuse (Lewanzik et al., 2025). Cependant, nos propres observations ont aussi montré que des femelles grand murin franchissent régulièrement des autoroutes éclairées toute la nuit pour aller chasser (Nyssen et al., 2023). D'autres processus liés de près ou de loin à l'urbanisation pourraient aussi être en cause, comme la mortalité par collisions avec les véhicules, des conditions micro-climatiques plus chaudes, la pollution atmosphérique, l'augmentation de la prédation par des animaux domestiques, etc. Enfin d'autres causes non liées à l'urbanisation listées dans le paragraphe précédent comme l'usage de produits toxiques pourraient aussi encore jouer dans certaines régions d'Europe.

Enfin, la répartition spatiale des colonies en déclin montre des particularités intéressantes. Par exemple, les données que nous avons reçues de l'est de la République tchèque suggèrent un déclin généralisé des colonies dans cette région. Nous n'avons trouvé aucune information pouvant expliquer ce phénomène. La carte suggère qu'il en est de même dans certaines régions de l'est de la France et de Suisse. Pour la France, une analyse des comptages hivernaux sur 20 ans dans toute la région Grand Est indique une tendance stable (Jimenez, 2024). Les colonies en déclin semblent donc compensées par les colonies en croissance, et une certaine mobilité des individus entre différents gîtes d'une même méta-colonie ou des

changements de gîte pour un même groupe d'individus pourraient aussi expliquer ces tendances divergentes. Pour la Suisse, une hypothèse est que la qualité ou la quantité des habitats de chasse autour de certaines colonies serait insuffisante (Rauchenstein et al., 2022).

A contrario, différentes mesures de protection des chiroptères sont déployées à l'échelle européenne depuis plusieurs décennies et influencent positivement les populations à l'échelle locale.

4.2. Conclusion

Divers processus environnementaux influencent potentiellement l'évolution des colonies de grand murin en Europe. Il faut garder à l'esprit qu'avec une analyse a posteriori, ne répondant pas à un design planifié de récolte de données et de covariables avec une méthodologie homogène, il n'est pas possible d'identifier avec certitude des interactions aussi complexes. Ce n'était d'ailleurs pas le but de cette étude. Nous avons néanmoins tenté de les explorer pour éviter de tirer des conclusions uniquement centrées sur l'aspect éolien en négligeant des facteurs confondants de l'environnement.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence les tendances suivantes :

- Augmentation globale des populations de grand murin ;
- Absence d'effet significatif de la présence d'éoliennes ;
- Effet négatif de l'anthropisation ;
- Effet de la structure forestière à large échelle (variable connectivité) ;
- Absence de lien avec le type dominant de peuplement (résineux, feuillus et mixte).

En résumé, les analyses que nous avons réalisées sur l'important jeu de données de l'évolution des colonies de grand murin dans 6 pays européens ne montrent pas d'impact manifeste de la présence d'éoliennes sur les dynamiques de population.



Partie 5 : Bibliographie

5. Bibliographie

- Accord du 4 décembre 1991 relatif à la conservation des populations de chauves-souris d'Europe, RS 0.451.461 (1991). <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2013/481/fr>
- Barré, K., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats : Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 226, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.07.011>
- Bartonička, M. T. (2012). *Česká společnost pro ochranu netopýrů*.
- BATLAS. (2023). *Portal für Fledermauspopulationstrends Großes Mausohr—Populationstrend für Myotis myotis*. Universität Greifswald (Hrsg.) : Bedrohte Daten von bedrohten Arten - Projekt im Rahmen einer Zuwendung gefördert durch BfN mit Mitteln des BMUV. <https://batlas.info/trends/myotis-myotis>
- Bayerisches Staatsministerium. (2016, août 31). *AllMBl. 2016/10 S. 1642—Verkundungsplattform Bayern*. https://www.verkundung-bayern.de/amtsblatt/dokument/allmbl-2016-10-1642/?utm_source=chatgpt.com#anlage
- *Biogeographical regions in Europe*. (2017, juin 19). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/biogeographical-regions-in-europe-2>
- Browning, E., Barlow, K. E., Burns, F., Hawkins, C., & Boughey, K. (2021). Drivers of European bat population change : A review reveals evidence gaps. *Mammal Review*, 51(3), 353-368. <https://doi.org/10.1111/mam.12239>
- CETE Lyon. (2012). *Schéma régional éolien de la région Rhône-Alpes* (Annulé par le tribunal administratif; p. 146). République Française.
- Chobot, K., & Němec, M. (2017, novembre 10). *ČERVENÝ SEZNAM OHROŽENÝCH DRUHŮ ČESKÉ REPUBLIKY OBRATLOVCI*.
- Confédération Suisse. (2024). *Cartes de la Suisse* [Geopackage]. https://map.geo.admin.ch/#/map?lang=fr¢er=2577337.3,1108892.2&z=0.863&topic=energie&layers=ch.bfe.windenergieanlagen@features=facility_CHA&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&featureInfo=bottomPanel&catalogNodes=ech
- Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, No. 104 (1979).
- Declercq, S., Dutour, L., Monnet, S., & Testud, G. (2017, décembre). *Liste rouge des chiroptères en Picardie*. Picardie Nature.
- Dietz, C. (avec Helversen, O. von, Nill, D., Dubourg, M.-J., Jourde, P., & Gebhard, J.). (2009). *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord*. Delachaux et Niestlé.
- Dietz, M., Krannich, E., & Weitzel, M. (2015). *Arbeitshilfe zur Berücksichtigung des Fledermausschutzes bei der Genehmigung von Windenergieanlagen (WEA) in Thüringen* (p. 121). Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.
- Directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, CONSIL, 206 OJ L (1992). <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj/fra>

- Doumont, E., Otoul, J., & Legat, A. (2026). *Etude de faisabilité d'un outil de contrôle en temps réel des mesures de bridage pour les chauves-souris* (p. 90) [Rapport technique]. CSD Ingénieurs pour le Service Public de Wallonie. https://biodiversite.wallonie.be/files/eDocsBiodiversite/Projets/rapports/BEL013183_SPW_Etude%20de%20faisabilit%C3%A9%20Contr%C3%B4le%20bridage%20chiro_2026-01.pdf
- DREAL Grand Est. (2021, mai). *Recommandations pour la constitution des dossiers de demande d'autorisation environnementale de projets éoliens*.
- DREAL Normandie. (2023). *Eolien terrestre : Le contenu de l'étude d'impact et la séquence ERC - Volet biodiversité* (Version 1; p. 42). Service Ressources naturelles.
- Dürr, T. (2026). *Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse | Startseite* | LfU. <https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/natur/artenschutz/vogelschutzwarte/arbeits-schwerpunkt-entwicklung-und-umsetzung-von-schutzstrategien/auswirkungen-von-windenergieanlagen-auf-voegel-und-fledermaeuse/#>
- Ellerbrok, J. S., Delius, A., Peter, F., Farwig, N., & Voigt, C. C. (2022). Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. *Journal of Applied Ecology*, 59(10), 2497-2506. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14249>
- Ellerbrok, J. S., Farwig, N., Peter, F., & Voigt, C. C. (2024). Forest bat activity declines with increasing wind speed in proximity of operating wind turbines. *Global Ecology and Conservation*, 49, e02782. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02782>
- Erlass zum Artenschutz in Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen (AGW-Erlass), 23 (2023).
- European Environment Agency. (2020). *Species assessments at EU biogeographical level 2012-2018*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/10311>
- European Topic Centre on Biological Diversity. (s. d.). *Article 17—Reporting Assessments of conservation status at the EU biogeographical level—Public consultation* [Technical paper].
- Everaert, J., Stienen, E., Devos, K., & Gyselings, R. (2025). *Effecten van windturbines op vogels en vleermuizen in Vlaanderen: Wetenschappelijke informatie en aanbevelingen voor risicoanalyse, milderende maatregelen en monitoring: update 2025*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. <https://doi.org/10.21436/inbor.126681827>
- Gaultier, S. P., Lilley, T. M., Vesterinen, E. J., & Brommer, J. E. (2023). The presence of wind turbines repels bats in boreal forests. *Landscape and Urban Planning*, 231, 104636. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104636>
- Gemeinsamer Runderlass des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucher schutz und des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen, STAATSANZEIGER FÜR DAS LAND HESSEN 40 (2021).
- Géorisques. (2025). *Eolien terrestre* [CSV]. <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/eolien-terrestre>
- Gessner Landschaftsökologie. (2023). *Leitfaden zu fledermauskundlichen Untersuchungen für Windenergieprojekte in Luxemburg* (p. 108). Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg.
- Hommersen, V., & Limpens, H. (2024). *Vleermuisonderzoek energietransitie : Onderdeel A3d : Zoldertellingen vale vleermuis* (2021.035 A3D). Zoogdiervereniging.

- *Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.* (2025). INBO. <https://www.vlaanderen.be/inbo/rode-lijsten/>
- Jimenez, G. (2024, mars). *Fiche indicateur statistique Évolution des populations du cortège de chauves-souris en hibernation en milieu souterrain dans le Grand Est* [Fact sheet]. Observatoire Grand Est - Biodiversité. <https://biodiversite.grandest.fr/wp-content/uploads/2024/07/ogeb2023-indicateur-statistique-suivi-hivernaux-hd.pdf>
- Jouve, L. (2011). *Plan Régional d'Actions pour les Chiroptères en Bourgogne 2011-2015* (p. 126). Société d'histoire naturelle d'Autun.
- Kepel, A. (2024). *Sprawozdanie z monitoringu nocka dużego Myotis myotis w roku 2024.*
- Kepel, A., Ciechanowski, M., & Jaros, R. (2013). *Wytyczne dotyczące oceny oddziaływania elektrowni wiatrowych na nietoperze.*
- Kervyn, T., Lamotte, S., Nyssen, P., & Verschuren, J. (2009). *Major decline of bat abundance and diversity during the last 50 years in southern Belgium.*
- Leitfaden „Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in NRW - Modul A“, 96 (2024).
- Leitfaden Umsetzung des Artenschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Niedersachsen, 7 Niedersächsisches Ministerialblatt 15 (2016).
- Lewanzik, D., Melber, M., Scholz, C., Schüll, I., Zebele, M., Brandt, M., Schumann, A., Düsing, K., van den Bogaert, V., Greving, H., Thomas, J., Hensle, E., & Voigt, C. C. (2025). Urban sprawl and light pollution disrupt commuting corridors of urban-roosting bats. *Science of The Total Environment*, 1008, 181019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.181019>
- LUBW. (2014). *Hinweise zur Untersuchung von Fledermausarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Windenergieanlagen* (p. 42). Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.
- LUNG MV. (2016, août 1). *Artenschutzrechtliche Arbeits- und Beurteilungshilfe für die Errichtung und den Betrieb von Windenergieanlagen.*
- Meinig, H., Boye, P., Dähne, M., Hutterer, R., & Lang, J. (avec Deutschland). (2020). *Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands.* Bundesamt für Naturschutz.
- Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Um welt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (MELUND), Landesamt für, & Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. (2017, août 22). *Integration artenschutzrechtlicher Vorgaben in Windkraftgenehmigungen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG).*
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt. (2018). *Leitfaden Artenschutz an Windenergieanlagen in Sachsen-Anhalt.* 47.
- *Myotis myotis | UNEP/Eurobats.* (s. d.). Consulté 15 janvier 2026, à l'adresse <https://www.eurobats.org/species/myotis-myotis>
- NABU Landesverband Berlin. (2023, août 23). *Forderungen zum Ausbau der Windenergie in Berlin.*
- Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., & Godeau, J.-F. (2023). *Etude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés* (p. 45). Ecofirst S.C. et CSD Ingénieurs. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20583.62884>

- OAFS, CGA, Conservatoire d'espaces naturels Aquitaine, & LPO Aquitaine. (2019). *Liste rouge des chiroptères d'Aquitaine*.
- Petrov, B., Jasja, D., Suren, G., Hamidovic, D., Javier, J., Julia, H., & Ferdia, M. (2018). *Action Plan for the Conservation of All Bat Species in the European Union*.
- Plass, J., Drack, A., Duscher, T., Engleder, T., Essl, F., Forstinger, G., Fuxjäger, C., Habenicht, G., Hartl, M., Hatlauf, J., Herold, L., Kraushofer, P., Kropfberger, J., Kunst, G. K., Malicky, M., Maringer, A., Pöstinger, M., Pysarczuk, S., Reiter, G., ... Weigk, S. (2023). *Atlas der Säugetiere Oberösterreichs* (J. Plass, Éd.).
- Purro, C., & Fries, V. (2011). *Liste rouge Chauves-souris*.
- Rauchenstein, K., Ecker, K., Bader, E., Ginzler, C., Düggelin, C., Bontadina, F., & Obrist, M. K. (2022). LiDAR metrics predict suitable forest foraging areas of endangered Mouse-eared bats (*Myotis myotis*). *Forest Ecology and Management*, 515, 120210. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120210>
- Règlement grand-ducal du 12 mars 2024 modifiant le règlement grand-ducal du 1er août 2018 instituant un système numérique d'évaluation et de compensation en éco-points., Acte juridique No. A128, Règlement grand-ducal (RGD) (2024). <https://legilux.public.lu/eli/etat/leg/rgd/2024/03/12/a128/jo>
- Richarz, D. K., Hormann, M., Braunberger, C., Harbusch, D. C., Süßmilch, G., Caspari, D. S., Schneider, C., Monzel, M. D., Reith, C., & Weyrath, U. (2013, juin). *Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland*.
- Richarz, D. K., Hormann, M., Werner, D. M., Simon, L., Wolf, T., Störger, L., & Berberich, D. W. (2012). *Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Verbraucherschutz, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz*. 145.
- Runge, A., Herold, M., Di Fulvio, F., Besnard, S., Egger, C., Erb, K.-H., Lessa_Derci_Augustynczik, A., Matej, S., & Weidinger, F. (2023). *Forest Navigator : D2.1 Multilayered forest geodatabase at the service of monitoring and modelling carbon and biodiversity*. European Union.
- Russo, D., & Cistrone, L. (2023). IUCN Red List of Threatened Species : *Myotis myotis*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>
- SPW ARNE. (2024, février 8). *Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie*.
- Suisse éole. (s. d.). Parcs éoliens et projets en Suisse. *Suisse Eole*. Consulté 15 janvier 2026, à l'adresse <https://suisse-eole.ch/fr/lenergie-eolienne/windparks/>
- The Wind Power. (2025). *Windfarms_Europe_20251222* [Excel].
- Thissen, J., & van Norren, E. (2020, décembre). A new Dutch Red List! *Lutra*.
- UICN. (2012). *Lignes directrices pour l'application des critères de la liste rouge de l'UICN aux niveaux régional et national : Version 4.0* (D. Devitre, R. Devitre, J. d'Huart, & J.-C. Vié, Trad.).
- UICN, Muséum national d'histoire naturelle (Paris), SFEPM, & Office national de la Chasse et de la Faune sauvage. (2017). *Liste rouge des espèces menacées de France—Mammifères de France Métropolitaine*.
- Van Vyve, C., & Smits, Q. (2021). *Liste rouge des chauves-souris de Wallonie*. DEMNA (SPW-ARNE).



Partie 6 : Annexes

Annexe 1.

Visualisation en détail, pour chaque pays, des séries de comptage à partir des données brutes : chaque ligne représente une colonie, chaque point est une année de comptage, la couleur illustre le nombre d'années de comptage successives.

