

# PROGRAMME OPRECH

Processus de Régulation des Eoliennes en faveur des Chiroptères

---

Analyse des pratiques à l'échelle nationale, tests  
expérimentaux et recommandations

---

## SYNTHESE



EXPERTISES

Nov.  
2022

# REMERCIEMENTS

La réalisation du projet OPRECh n'aurait pas été possible sans l'engagement d'intervenants d'horizons variés pendant plusieurs années. Un grand merci à eux pour ces efforts à l'interface des deux grands enjeux planétaires que sont la lutte contre le réchauffement climatique et la préservation de la biodiversité.

## *Logistique et missions de terrain*

- Pierre PETITJEAN (EXEN),
- Emilien BONICHON (EXEN),
- Julien CAYLET (EXEN)
- Alexis ROY (TotalEnergies)

## *Saisie et analyses des données*

- Yannick BEUCHER (EXEN)
- Florence MATUTINI (CEFE CNRS)
- Xavier NARDOU (EXEN)
- Frédéric ALBESPY (EXEN)
- Aurélien BESNARD (CEFE CNRS)
- Eloïse ANDRE (EXEN)
- Sandra DERVAUX (EXEN)
- Aurélie LANGLOIS (EXEN)
- Léa FABRE (EXEN)

## *Rédaction, relecture*

- Yannick BEUCHER (EXEN)
- Florence MATUTINI (CEFE CNRS)
- Xavier NARDOU (EXEN)
- Aurélien BESNARD (CEFE CNRS)
- Pierre ILLAC (TotalEnergies)
- Paul FRANC (ADEME)

## *Contributions enquêtes et fournitures de rapports*

- Bureaux d'étude : Ouest'Am, Ecosphère, Audicée, Calidris, Exen, KJM conseil
- Institutions : DREALs, DEALs, OFB
- Porteurs de projets, exploitants : SER, FEE, TotalEnergies,

## *Membres du comité scientifique*

- Yves BAS (MNHN)
- Aurélien BESNARD (CEFE CNRS)
- Yannick BEUCHER (EXEN)
- Camille CHARPIAT (SER)
- Paul FRANC (ADEME)
- Pierre ILLAC (TotalEnergies)
- Nathalie LAMANDE (DREAL Occitanie)
- Maxime LEUCHTMANN (SFEPM)
- Geoffroy MARX (LPO)
- Chloé PERRADIN (FEE)
- Sarah PIERRE (DREAL Bourgogne Franche Comté)
- Charlotte ROEMER (MNHN)
- Fabienne ROUSSET (DREAL Occitanie)

# CITATION DE CE RAPPORT

BEUCHER Yannick, MATUTINI Florence, NARDOU Xavier, BESNARD Aurélien, ALBESPY Frédéric, LANGLOIS Aurélie, ILLAC Pierre. 2022. Programme OPRECh. Optimisation des Processus de Régulation des Eoliennes en faveur des Chiroptères : Analyse des pratiques nationales, tests expérimentaux et recommandations. 243 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

**Ce document est diffusé par l'ADEME**

**ADEME**

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1905C0033

Projet de recherche coordonné par : Yannick BEUCHER

Appel à projet de recherche : Energies durables 2018

Coordination technique - ADEME : Paul FRANC

Direction/Service : Service Electricité Renouvelable et Réseaux

# SOMMAIRE

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>2. VOLET 1 : IDENTIFIER LES PRATIQUES DE LA REGULATION DES EOLIENNES EN FAVEUR DES CHAUVES-SOURIS EN FRANCE .....</b>	<b>8</b>
2.1. Matériel et méthodes (volet 1) .....	8
2.2. Principaux résultats obtenus sur les pratiques de la régulation en France.....	9
2.2.1. Stade de développement de la mesure en France.....	9
2.2.2. Pratiques du processus de régulation .....	10
2.2.2.1. Evolution des suivis d'activité chiroptérologique en hauteur et des mortalités...	10
2.2.2.2. Pratiques de suivi de l'activité des chauves-souris en hauteur.....	10
2.2.2.3. Pratiques du suivi de la mortalité.....	11
2.2.2.4. Pratiques de prise de décision d'une mesure de régulation et modes de régulation retenus.....	12
2.2.2.5. Pratiques du dimensionnement de la mesure de régulation.....	12
2.2.2.6. Pratiques de suivi / contrôle de la mesure de régulation .....	13
2.2.3. Efficacité générale de la mesure de régulation.....	14
<b>3. VOLET 2 : TESTER LES PRINCIPAUX MODELES DE REGULATION (VOLET EXPERIMENTAL).....</b>	<b>15</b>
3.1. Matériel et méthodes (volet 2).....	15
3.2. Principaux résultats des tests expérimentaux des modalités de régulations (volet 2)	16
3.2.1. Effet des différents modes de régulation sur la mortalité observée.....	16
3.2.2. Effet de l'activité chiroptérologiques sur la mortalité.....	17
3.2.3. Effet de des variables météorologiques, temporelles et de fonctionnement de l'éolienne sur la mortalité.....	18
3.2.4. Effet des variables climatiques sur l'activité.....	18
3.3. Discussions (volet 2) .....	18
3.3.1. Peut-on prédire l'activité des chiroptères à partir de variables climatiques et temporelles ?.....	18
3.3.2. Un lien partiel mais significatif entre mortalité et activités.....	18
3.4. Simulations de différents pratiques de régulation sur le jeu de données expérimental d'OPRECh .....	18
3.5. Simulation de l'effet du choix de la pression de suivi de la mortalité sur la perception de l'impact.....	19
<b>4. VOLET 3 : CONTRAINTES, LEVIERS ET RECOMMANDATIONS VERS UNE MESURE DE REGULATION OPTIMISEE EN FRANCE .....</b>	<b>20</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>23</b>
<b>INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....</b>	<b>23</b>
<b>SIGLES ET ACRONYMES .....</b>	<b>24</b>

## RÉSUMÉ

Pour faire face aux changements climatiques et à ses impacts sur l'environnement et les sociétés humaines, une transition mondiale vers les énergies décarbonées et renouvelables est nécessaire. Cependant, les impacts du développement éolien sur la faune, et notamment sur les chiroptères, sont bien documentés. La mise en place de mesures de réduction de ces impacts est donc essentielle dans un contexte de crise de la biodiversité. Le programme OPRECh est spécifiquement ciblé sur les processus de dimensionnement, de mise en œuvre et de contrôle de la mesure de régulation des éoliennes pour réduire les mortalités qu'elles génèrent sur les chauves-souris. En l'absence de cadrage ou de synthèse de retour d'expériences à l'échelle nationale, il s'est articulé autour de trois axes ;

- Le premier volet (1) est une vaste revue de la littérature spécialisée destinée à faire un premier bilan du stade de développement actuel de la mesure à l'échelle nationale et de caractériser les pratiques de l'ensemble du processus de régulation. Il montre que moins de la moitié du parc national Français bénéficie de cette mesure, mais que cette dernière est globalement efficace quand elle est mise en œuvre. C'est d'autant plus encourageant que cette efficacité souffre des problèmes de mise en œuvre effective. Les pratiques sont diversifiées avec des disparités régionales mais tendent à s'améliorer et à s'homogénéiser.
- Le deuxième volet (2) expérimental teste l'efficacité de différentes modalités régulièrement utilisées et analyse les possibilités de prédiction du risque de mortalité avec une diversité de variables. Au sein du parc étudié, comparées aux éoliennes non régulées, les éoliennes régulées lors des vitesses de vent de 6 m/s ont permis de réduire 100% des mortalités. L'effet a été moindre mais notable pour des seuils de 3 et 4.5 m/s de vent (respectivement 56 à 61% de réduction de mortalité). Les analyses complémentaires montrent que le risque de mortalité augmente significativement avec la température, lorsque la vitesse du rotor diminue et lorsque l'activité au sol et en nacelle est élevée. La température, la vitesse du vent et la période de l'année sont des variables pertinentes pour prédire une partie de l'activité à l'échelle de la nuit. Néanmoins, les réponses entre les espèces sont variées, et les difficultés de prédiction de l'activité et des risques de mortalité concernent surtout les espèces du groupe des nyctaloïdes. La mise en place d'une régulation reste essentielle pour réduire les impacts des éoliennes sur les populations de chiroptères. Leur calibrage à partir de seuils fixes de vent et de température seulement est une mesure efficace pour réduire significativement les mortalités de *Pipistrellus sp.* mais reste insuffisante dans un objectif d'optimisation.
- Le troisième volet (3) synthétise les résultats sous les formes d'une liste de contraintes, leviers et recommandations pour l'ensemble du processus de régulation. Il invite les acteurs vers des pratiques et des principes en faveur d'une systématisation rapide et à large échelle de la mesure, et vers différents leviers d'optimisation.

## ABSTRACT

In order to fight against climate change and its impacts on environment and human societies, a global transition to decarbonized and renewable energies is necessary. But impacts of wind energy on Wildlife, and especially bats, are worrying. Development of measures to reduce these impacts is therefore essential in a context of biodiversity crisis. The OPRECh program is specifically targeted on processes of sizing, implementation and control of wind turbine curtailment to reduce fatalities on bats. Without a framework or feedback at the national scale, OPRECh has been structured around three parts :

- The first part (1) is a large review of specialized literature for an initial assessment of the current stage of development of this measure on a national scale and in order to characterize practices of the entire curtailment process. It shows that less than half of the French national park is concerned by the mitigation measure. But it is generally effective when it is implemented. This is all the more encouraging as this effectiveness is also limited by problems of effective implementation. Practices are diverse, with regional disparities, but tend to improve and become more consistent.
- The second experimental part (2) tests effectiveness of different methods regularly used and analyzes possibilities of predicting the risk of mortality with a diversity of variables. Within the wind farm studied, compared to uncurtailed wind turbines, turbines curtailed at wind speeds of 6 m/s made it possible to reduce fatalities by 100%. Efficiency was less important but notable for thresholds of 3 and 4.5 m/s of wind speed (reduction of respectively 56 to 61%). Additional analyzes show that the risk of mortality increases significantly with temperature, when the rotor speed decreases and when bat activity on the ground and around the nacelle is high. Temperature, wind speed and time of year are relevant variables to predict a part of bat activity at night time. Nevertheless, responses are varied between species, and limits of predicting activity and mortality risks mainly concern species of the nyctaloïd group. Implementation of curtailment remains essential to reduce impacts of wind turbines on bat populations. Their calibration only based on fixed thresholds of wind speed and temperature is an effective measure to significantly reduce fatalities of *Pipistrellus* sp. but remains insufficient for a purpose of optimization.
- The third part (3) summarizes results through a list of constraints, levers and recommendations for the entire curtailment process. It invites stakeholders towards practices and principles in favor of a rapid and large-scale systematization of this measure, and towards several optimization levers.

# 1. Introduction

---

OPRECh est parti du postulat que les mesures de régulation des éoliennes peuvent permettre de réduire sensiblement les risques de mortalité des chiroptères. Plusieurs modes de régulations ont ainsi montré leur intérêt en France et à l'étranger ces dernières décennies. Le dimensionnement et la mise en œuvre de ces actions de régulation nécessitent cependant une bonne connaissance de l'écologie des chiroptères, des conditions de risques et la maîtrise de contraintes techniques, technologiques et économiques liées au fonctionnement des éoliennes. Or, le manque de connaissances sur ces thématiques en France, l'absence d'état des lieux des pratiques actuelles ou de mutualisation des retours d'expériences, ou encore la communication parfois difficile entre les acteurs de la filière éolienne, ont pu engendrer une mauvaise appréhension de ces modes de régulation, de leurs efficacités relatives pour réduire les mortalités de chauves-souris et leurs effets sur la production d'énergie. Le programme OPRECh vise donc à combler (au moins en partie) ces différentes lacunes, vers la connaissance des pratiques en matière de mesures de régulation, vers leur optimisation technique, et vers le partage et la diffusion de recommandations de bonnes pratiques.

OPRECh vise trois objectifs distincts à l'origine de trois volets d'étude complémentaires :

- **Volet 1 / Identifier des pratiques de la mesure de régulation en France** pour proposer un premier état de l'art de la situation nationale de la régulation et de la diversité des pratiques. Ce travail se base sur une vaste revue de la littérature spécialisée et d'interviews. Il s'agit de décrire les pratiques et d'identifier les contraintes qui limitent le bon dimensionnement et la bonne mise en œuvre de la mesure de régulation pour l'ensemble des acteurs de la filière. Il s'agit alors de décliner ces pratiques ;
  - sur une **échelle temporelle** par une analyse de l'évolution des pratiques en fonction de l'évolution des prescriptions techniques nationales ;
  - sur une **échelle géographique**, par une analyse des disparités ou convergences au niveau des différentes régions de France.
- **Volet 2 / Tester les principaux modèles de régulation des éoliennes** sur un parc éolien jugé « à risque » pour les chiroptères afin d'évaluer aussi objectivement que possible leurs efficacités, leurs avantages et les contraintes qu'ils imposent, et cela en fonction des espèces concernées, de leurs comportements, des types de risques (espèces de lisières ou de haut-vols, migrations, pics d'activité autour des rotor...), mais aussi selon les milieux, les conditions climatiques, etc...
- **Volet 3 / Sur la base des résultats des étapes précédentes, proposer une synthèse de recommandations sur les bonnes pratiques de régulation** pour faciliter sa mise en œuvre à large échelle (définition du vocabulaire spécifique, avantages / contraintes des différents modèles, prérequis, processus de dimensionnement, difficultés de mise en œuvre, écueils et résultats escomptés, phases de suivis d'efficacité, mesures correctives, amélioration continue...).



## 2. Volet 1 : Identifier les pratiques de la régulation des éoliennes en faveur des chauves-souris en France

---

### 2.1. Matériel et méthodes (volet 1)

En l'absence d'information de synthèse disponible à l'échelle nationale à propos des pratiques de la régulation, une combinaison de différentes méthodes et sources de données a été exploitée. Cette phase de recueil de données s'est appuyée sur des recherches bibliographiques, des mailings et consultations d'organismes et institutions, des enquêtes, interviews et le recueil et l'analyse de nombreux rapports d'études. Au vu de la diversité des sources de données et des objectifs de traitement des données, un travail de tri, d'harmonisation et de saisie a été mené en fonction du type de données pour générer finalement trois principales bases de données (BDD), dont les objectifs d'analyses sont complémentaires :

- La base de données « **BDD Taux de régulation national** » a été créée de manière à disposer d'informations simples mais aussi exhaustives que possible pour caractériser la situation nationale du taux de parcs éoliens régulés par rapport à l'ensemble du parc éolien français. Cette proportion nationale de parcs régulés / non régulés devait permettre d'évaluer le stade de développement de la mesure en France puisque le taux national des parcs régulés restait en effet inconnu tant au niveau des institutions publiques que des opérateurs éoliens.

Un important recueil bibliographique a ainsi été réalisé auprès de tout document susceptible d'évoquer cette mesure au niveau de chaque parc éolien français ; arrêtés préfectoraux (AP), arrêtés préfectoraux complémentaires (APC), rapports d'études d'impacts, rapports de suivis d'impacts, avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (MRAe), dossiers de dérogations espèces protégées ou tout autre document informatif. La base de données a été créée pour les parcs éoliens construits au 31 décembre 2020 sur la base du Registre national des installations de production et de stockage d'électricité.

Des documents informatifs ont ainsi pu être recueillis pour 732 parcs éoliens des 1227 parcs recensés à cette date à l'échelle nationale (DOM-TOM inclus), soit 60 % des parcs éoliens du territoire national. Le taux de recueil d'informations est toutefois très variable selon les régions (important pour les régions Occitanie, Bretagne et Pays de la Loire... et beaucoup plus faible pour les régions Normandie Bourgogne-Franche-Comté).

- La base de données « **BDD Pratiques de la régulation / projets éoliens** » a été créée pour permettre de détailler les pratiques du processus de régulation dans le cadre d'un nouveau projet éolien ou un projet de renouvellement (repowering). Les expertises chiroptérologiques des études d'impacts sur l'environnement apparaissent comme la meilleure source de données mais leur accès n'est pas toujours facile puisqu'elles sont rendues publiques à l'échelle locale au moment de l'enquête publique, mais rarement rassemblées à l'échelle départementale ou régionale (hormis via le site projet-environnement.gouv.fr).

La base de données a été alors constituée en exploitant un échantillon de 140 dossiers d'études d'impact de projets de parcs récents pouvant être en construction, autorisés ou en instruction au moment de la rédaction de ce rapport. Là encore des disparités d'échantillonnage sont à noter avec une majorité des projets éoliens engagés à cette date en régions Nouvelle-Aquitaine (51%), Hauts-de-France (19%) et Grand Est (9%).

La nature et la consistance des informations liées à la mesure de régulation sont très hétérogènes entre les rapports. La perception du processus a alors été complétée par des entretiens téléphoniques (auprès de représentants de DREALS, bureaux d'étude, porteurs de projets) voire par la consultation de dossiers de demande de dérogation espèces protégées.

- La base de données « **BDD Pratiques de la régulation / parcs exploités** » a été créée pour permettre de détailler finement les pratiques du processus de régulation dans le cadre de parcs éoliens en cours d'exploitation. Pour ce faire, les rapports de suivis environnementaux apparaissent comme la meilleure source de données. Leur recueil s'est avéré plus efficace que celle des rapports d'études d'impact, notamment grâce à l'aide de nombreuses DREALS ou bureaux d'étude. Le nombre de rapports traités est ainsi bien plus conséquent que celui des études d'impacts avec 559 dossiers de suivis d'impacts concernant 406 parcs éoliens, soit environ un tiers du parc éolien national installé. Certains parcs éoliens font en effet l'objet de plusieurs campagnes de suivis interannuelles. En moyenne, la base de données concerne 1,3 campagnes de suivi annuel par parc. La grande majorité des rapports traités ne concerne qu'une seule campagne de suivi, mais certains parcs ont été suivis sur parfois cinq



campagnes annuelles. Les rapports de suivis interannuels sont très intéressants pour apprécier l'évolution des processus de régulation et leur efficacité. Là encore, une hétérogénéité d'échantillonnage géographique est à noter, avec les régions Grand-Est, Bretagne et Occitanie les plus représentées. Les données concernant la mesure de régulation sont souvent plus détaillées au sein de ces rapports qu'au niveau des études d'impacts, ce qui permet une approche plus qualitative des pratiques pour des parcs exploités. Des consultations directes et entretiens avec les représentants des DREALs, bureaux d'études ou porteurs de projets ont aussi permis de compléter l'analyse.

## 2.2. Principaux résultats obtenus sur les pratiques de la régulation en France

### 2.2.1. Stade de développement de la mesure en France

La mesure de régulation des éoliennes en faveur des chiroptères est déployée sur un peu moins de la moitié des parcs éoliens construits de France jusqu'en 2020 (44% d'après le recensement effectué). Toutefois, des disparités régionales existent quant à l'adoption de cette mesure, avec une prise en compte qui semble plus tardive dans certaines régions (notamment Haut de France, Grand-est) en parallèle de la progression du développement éolien Français. Les évolutions des protocoles réglementaires en vigueur et prescriptions nationales contribuent aussi à la diffusion de cette mesure.

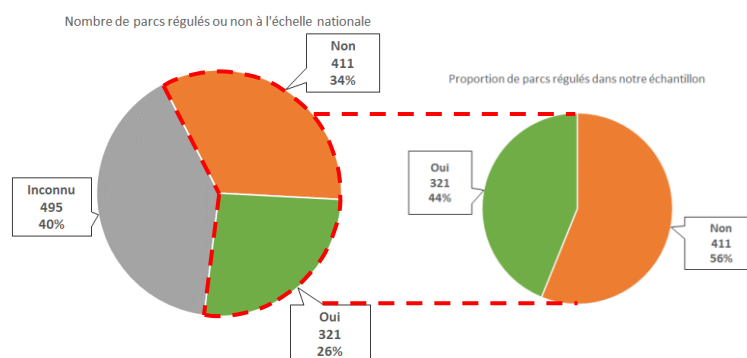


Figure 1 : Proportions de parcs régulés, non régulés ou de statut inconnu en France (gauche) et proportions en excluant les parcs sans information (droite)

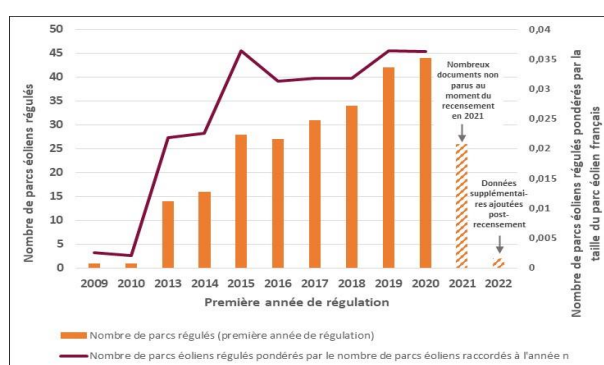


Figure 2 : Années de première mise en place d'une mesure de régulation sur les parcs éoliens de France métropolitaine.

En ce qui concerne la dynamique des nouveaux projets éoliens, près de 72% des études d'impact comportent une proposition de mesure de régulation des éoliennes en faveur des chiroptères. Ce recensement a donc mis en évidence une prise d'ampleur progressive des préconisations de la mesure de régulation à l'échelle nationale. Toutefois, des disparités régionales existent et une proportion toujours importante de parcs construits et de projets n'ont pas prévu de mesure de régulation.

## 2.2.2. Pratiques du processus de régulation

### 2.2.2.1. Evolution des suivis d'activité chiroptérologique en hauteur et des mortalités

Le suivi passif et en hauteur de l'activité des chauves-souris s'est développé récemment en France.

Dans le cadre des études d'impacts, les prescriptions des guides de l'étude d'impact restent encore peu incitatives mais les pratiques semblent s'être fortement développées depuis 2017-2018. Seuls les parcs les plus récents peuvent bénéficier de cet apport.

Dans le cadre de parcs en exploitation, les pratiques se sont aussi fortement développées ces dernières années, notamment par l'évolution des prescriptions nationales et de la version 2018 du protocole national de suivi environnemental. Compte tenu de ce développement récent, seuls 30% des études de suivis d'impact de l'échantillon disponible ont pu bénéficier d'une analyse croisée entre suivi d'activité en hauteur et suivi de la mortalité pour décider et dimensionner une mesure de régulation.

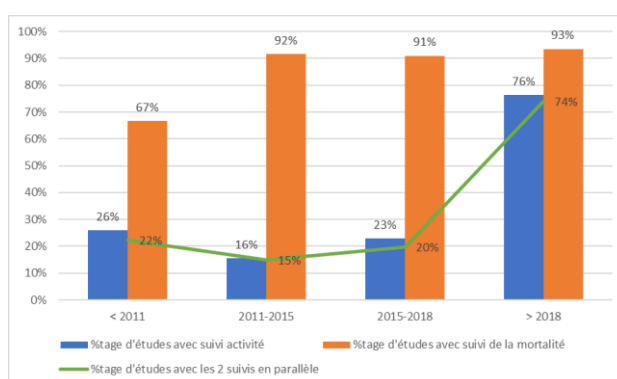


Figure 3 Histogramme de l'évolution temporelle des principales sources de données du processus de régulation

### 2.2.2.2. Pratiques de suivi de l'activité des chauves-souris en hauteur

Au niveau des études d'impacts, seuls 30% des études bénéficient d'un suivi d'activité à la fois en continu ET en hauteur. Et c'est surtout dans ces conditions qu'une mesure de régulation prédictive proportionnée est engagée en pratique. Or ce sont paradoxalement surtout les études les moins centrées sur les conditions de risques en hauteur (qui ne bénéficient ni d'un suivi en hauteur ni d'un suivi en continu) qui aboutissent à l'absence de prescription de mesure de régulation.

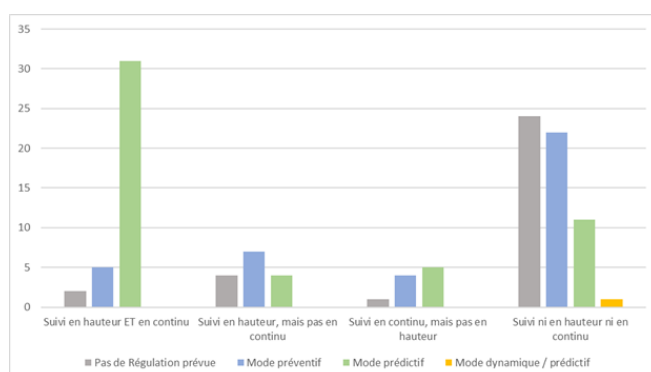


Figure 4 Mode de régulation engagé selon le type de suivi acoustique utilisé dans le cadre des études d'impact d'un nouveau projet

Au niveau des suivis d'impacts, les nacelles d'éoliennes sont le principal support utilisé, pratique anticipée par rapport aux prescriptions nationales de 2018, ce qui est favorable pour la qualité des suivis. Les outils d'enregistrements acoustiques les plus utilisés sont ceux qui se sont les plus précocement spécialisés pour une utilisation en nacelles d'éoliennes. La période de suivi d'impact est plutôt conforme

avec celle exigée par le protocole de suivi environnemental en vigueur voire dépasse aussi souvent les minimum requis (dates de début de campagnes plus précoces), à la faveur de la qualité des études.

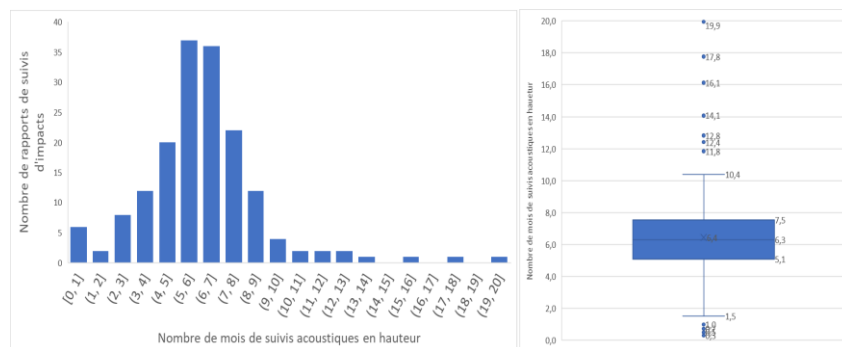


Figure 5 Histogramme de fréquence et diagramme en boîte de la durée des études acoustiques en hauteur dans l'échantillon de rapports de suivis d'impact

De façon générale, la majorité des rapports qui bénéficient d'un suivi d'activité en hauteur pratiquent une analyse structurée des résultats. Ainsi ;

- ¾ d'entre eux présentent bien une synthèse chronologique de l'activité par nuit ;
- Plus de la moitié des rapports procède à une analyse détaillée des comportements (distinctions des espèces de haut-vol et des espèces de lisières, analyse des pics d'activité, recherche de cris sociaux ou buzz de chasse...);
- 73% des rapports procèdent aussi à une analyse des phénologies des espèces avec une progression des pratiques à ce niveau.

En revanche, parmi les contraintes, on note que ;

- les unités d'estimation de l'intensité d'activité sont encore souvent floues avec un besoin de clarification des termes utilisés. Ces problèmes tendant toutefois à réduire avec le temps, avec une utilisation plus marquée d'un « nombre de contacts » et à s'améliorer avec la progression de la notion de durée d'activité à risque (secondes cumulées d'activité à risque) ;
- Moins de la moitié des rapports bénéficie d'un référentiel d'activité, et les pratiques à ce niveau ne semblent pas beaucoup évoluer ;
- ¼ des rapports ne procèdent pas à une analyse des conditions climatiques d'activité, et ne peuvent donc pas définir objectivement les conditions à risques pour dimensionner la régulation.

### 2.2.2.3. Pratiques du suivi de la mortalité

Comme pour le suivi d'activité en hauteur, les pratiques du suivi de la mortalité semblent globalement plutôt progresser en qualité avec le temps et l'évolution des prescriptions nationales. On retient notamment l'abandon des suivis d'extrêmement courte durée ou de très faible pression de suivi pour les cas de premier suivi de la mortalité. Depuis 2018, les très courts suivis se limitent aux cas de reconductions de suivi sur plusieurs années, avec ciblage sur un enjeu et une période identifiée. L'évolution positive des pratiques concerne aussi la qualité de la mise en œuvre des tests d'évaluation des sources de biais (taux de persistance, taux de détection, coefficient surfacique...).

Mais à contrario, le dernier protocole a eu aussi tendance à homogénéiser les pratiques, induisant parfois un lissage vers le bas de l'effort de prospection dans certaines régions (réduction des extrêmes maximum). Et certaines pratiques vertueuses ont du mal à se développer (ex. intervalle de confiance).

Les disparités régionales sont importantes avec des efforts de prospection souvent bien plus poussés au sud qu'au nord, surtout liée à des études à très fortes pressions qui augmentent la moyenne au sud, alors qu'au nord les études sont plus standardisées et souvent menées sur des modèles à moindre effort d'échantillonnage.

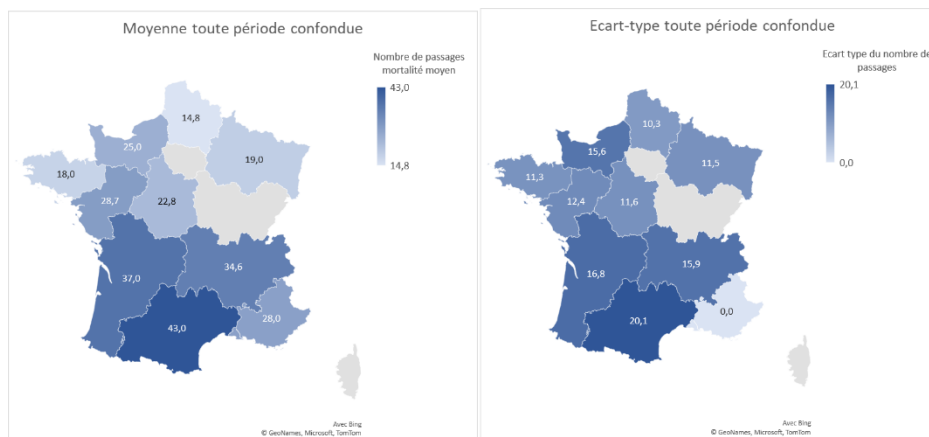


Figure 6 Répartition régionale des moyennes et écarts types de nombre de passages de suivis de la mortalité, toutes périodes confondues

#### 2.2.2.4. Pratiques de prise de décision d'une mesure de régulation et modes de régulation retenus

La phase de prise de décision d'engager une mesure de régulation est en forte progression générale ces dernières années (plus de 70% des études d'impacts et de suivis d'impacts qui l'envisagent dans les études les plus récentes). Cette progression est probablement liée à l'évolution des prescriptions nationales mais aussi probablement à une prise de conscience plus générale de l'effet cumulé possible du développement éolien sur l'équilibre des populations de chauves-souris.

En revanche, concernant le mode de régulation retenu, on note des incohérences récurrentes avec les sources de données disponibles pour le retenir. C'est notamment le cas de modes de régulation prédictifs qui sont retenus malgré l'absence de suivi en hauteur permettant de qualifier aussi objectivement que possible les conditions de risques. Le suivi de la mortalité seul ne peut pas permettre cette perception des conditions de risques et donc le dimensionnement d'une mesure de régulation prédictive. Ces incohérences doivent toutefois être modulées par le fait que l'analyse n'intègre pas toujours l'évolution des pratiques dans le temps.

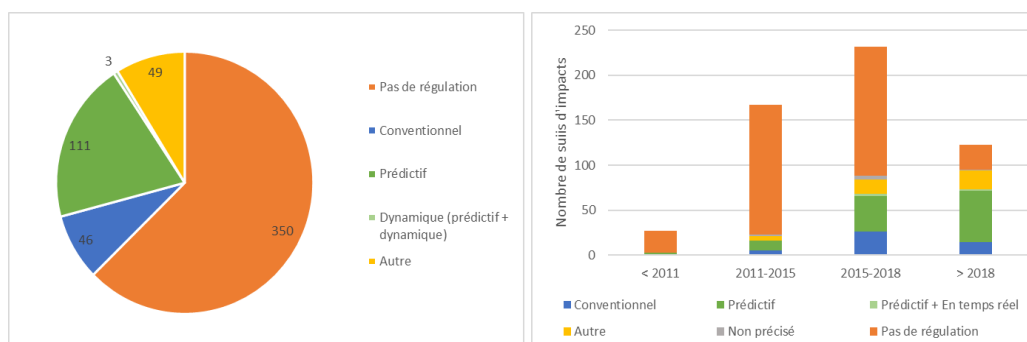


Figure 7 Proportion et évolution des modes de régulation retenus dans le cadre de suivis d'impacts de parcs exploités

#### 2.2.2.5. Pratiques du dimensionnement de la mesure de régulation

A propos du dimensionnement du pattern de régulation, l'analyse des pratiques témoigne d'une cohérence des paramètres et des seuils les plus utilisés entre les études d'impacts et les suivis d'impacts. Les patterns retenus semblent globalement de plus en plus conservateurs et de plus en plus fins avec

le temps, grâce notamment à la progression des études d'activité en hauteur et la compréhension des processus écologiques et comportementaux associés. Cette évolution se caractérise notamment par :

- Des dates de début de période d'activation de plus en plus précoces au printemps (mai-> avril), mais une fin octobre assez stable (octobre) ;
- Une durée moyenne de la période d'activation qui progresse (5,2 mois depuis 2018) ;
- Un pattern qui tend à être de plus en plus décomposé par saisons et périodes phénologiques ;
- Une légère progression du seuil de vitesse de vent en moyenne de 5 vers 6 m/s. Avec la décomposition progressive par saisons, le seuil de vitesse de vent le plus haut sur la période la plus à risque en fin d'été automne (août-octobre) est de plus en plus distingué des vitesses moindres retenues plus tôt dans l'année (printemps - début été) ;
- La progression du nombre de paramètres climatiques ou temporels utilisés.

Pour les suivis d'impacts, la mesure mise en œuvre de la mesure au cours d'une première année tend de plus en plus à être revue sur les années suivantes, favorisée par la réglementation pour chercher le meilleur compromis via un renouvellement des suivis tant qu'un « impact significatif » est constaté. Cette phase d'optimisation progressive a pu être renouvelée jusqu'à quatre années successives sur certains sites.

Au-delà de cette progression générale de la précision des patterns de régulation, il reste encore des possibilités pour les affiner, en progressant notamment sur la prise en compte des précipitations. Car l'effet de la pluie sur l'activité des chauves-souris reste peu étudié, faute de connaissance sur les variables le plus influentes et faute de capteurs de suivi adaptés (ex. pluviomètre, hygromètre, visibilimètre ...).

#### 2.2.2.6. Pratiques de suivi / contrôle de la mesure de régulation

L'analyse de l'évolution interannuelle de la mortalité entre deux campagnes est sous-exploitée pour permettre une appréciation de l'efficacité de la mesure (moins de la moitié des rapports). L'analyse de l'évolution interannuelle de l'activité l'est aussi très peu. Lorsque cette analyse est conduite correctement, on note l'absence de constat d'évolution négative de l'activité entre deux années.

Quant aux **problèmes de mise en œuvre effective de la mesure**, ils sont aussi très peu analysés dans les rapports (1/4) et **pourtant ces problèmes semblent courants en pratique** (retard de démarrage de la période d'activation en début de campagne, mais aussi dysfonctionnements ponctuels, voire légers décalages fins mais réguliers et encore plus difficiles à identifier). Ils sont donc **sous-évalués dans les études** ce qui induit des erreurs évidentes de perception de l'efficacité quantitative ou qualitative de la mesure de régulation. Cela **limite donc la possibilité d'optimiser la mesure**, que ce soit à l'échelle du parc (mesure corrective) ou de façon plus générale vers une maîtrise des pratiques de la régulation.

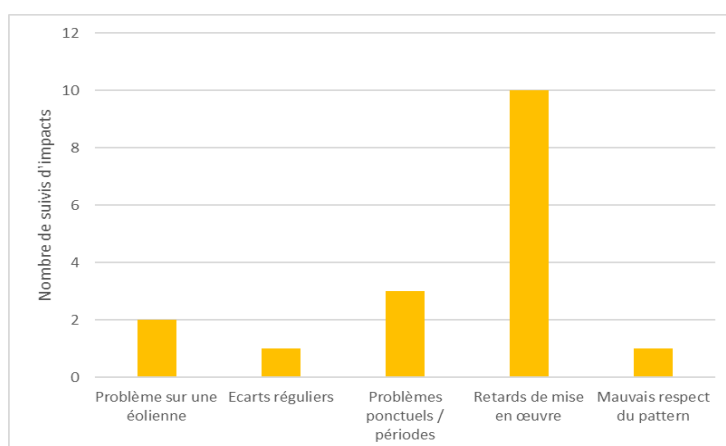


Figure 8 Typologie des principales causes d'écarts constatés entre le pattern et la mise en œuvre effective de la régulation

### 2.2.3. Efficacité générale de la mesure de régulation

Les résultats témoignent d'une efficacité notable des mesures de régulation avec presque 60% de la réduction de la mortalité par une approche moyenne de l'ensemble des situations des retours de tests disponibles. Ce même taux d'efficacité correspond à des vitesses de vent de l'ordre de 5-6 m/s. Au-delà (6-7 m/s), l'efficacité est très importante et peut aboutir à une maîtrise quasi-totale de l'impact par mortalité (-80 à -100%). Attention, les vitesses de vent indiquées ici sont des moyennes sur l'ensemble de la plage de régulation.

Cette efficacité est assez hétérogène selon les sites et selon les critères utilisés pour la mesurer (et probablement selon les espèces, mais non testé ici). Globalement, elle est d'autant plus variable ;

- que le pattern de régulation se base sur des seuils de vitesses de vent les plus faibles (<4m/s notamment) ;
- qu'il s'agit de la première année de test de la mesure ;
- que le critère d'analyse est la mortalité pondérée plutôt que le taux de mortalité.

Pour autant, les résultats montrent que même pour des seuils de vitesses de vent faibles, des cas de forte diminution de la mortalité sont possibles et ce, même au cours d'une première année de test. Ce résultat est d'autant plus encourageant dans la perspective d'une maîtrise de la perte de production d'énergie, qu'il est probablement sous-estimé à cause des problèmes de mise en œuvre effective de la mesure.

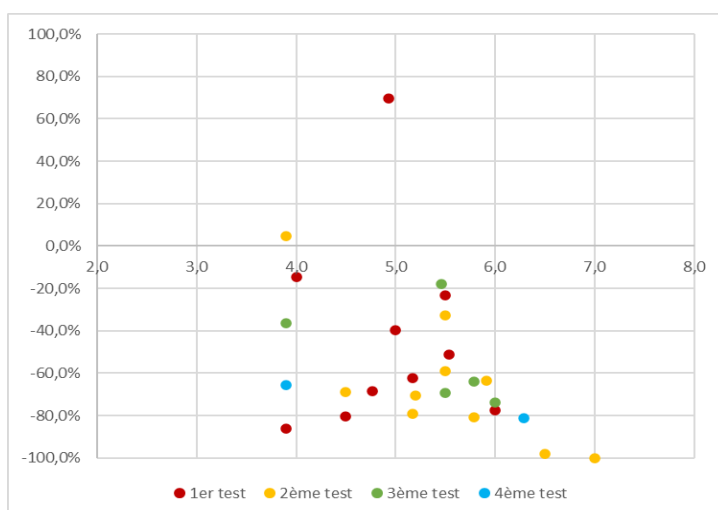


Figure 9 Evolution du taux de mortalité entre avant et après mesure de régulation en fonction du seuil moyen de vitesse de vent du pattern de régulation

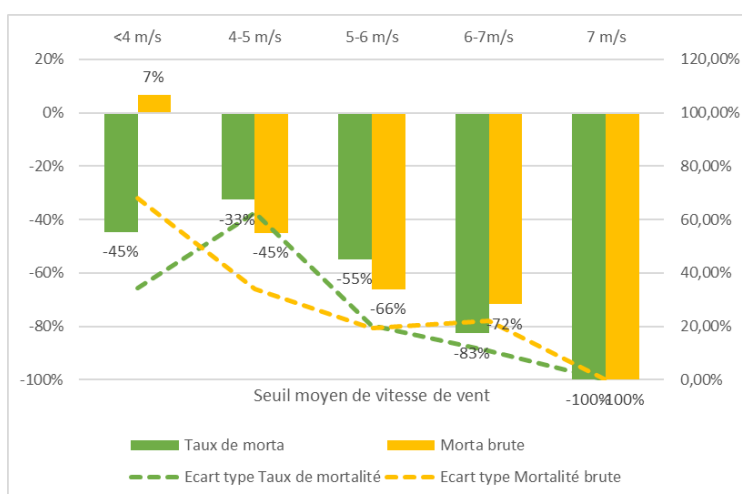


Figure 10 Evolution de l'impact par mortalité mesuré en moyenne entre avant et après mesure de régulation selon le seuil de vitesse de vent moyen du pattern de régulation

## 3. Volet 2 : Tester les principaux modèles de régulation (volet expérimental)

### 3.1. Matériel et méthodes (volet 2)

Les objectifs du volet expérimental d'OPRECh furent :

- De comparer en conditions réelles l'efficacité de quatre modèles de régulation d'éoliennes définis selon différents des seuils de vent et de température sur un parc éolien jugé « à risque » pour les chiroptères ;
- D'identifier et de hiérarchiser les différents facteurs régissant les taux de mortalité. Différents axes d'analyses visaient alors à ;
  - caractériser l'effet des conditions climatiques et du fonctionnement de l'éolienne sur la mortalité ;
  - caractériser l'effet de l'activité au sol et en altitude sur la mortalité ;
  - et caractériser l'effet des conditions climatiques sur l'activité de différents groupes d'espèces.

Quatre modalités de régulation et une modalité témoin (sans régulation) ont été mises en place par paires d'éoliennes avec une **rotation aléatoire tous les quinze jours** des modalités. La période de tests a été ciblée sur la période de plus forts risques de mortalité sur le parc testé (entre juillet et septembre) et deux années successives (2019 et 2020).

Tableau 1 : Description des différentes modalités de régulation étudiées

	Vitesse du vent (m/s)	Temp. (°C)	Description générale
Mod01	2	–	Aucune régulation (qui correspond à une très faible rotation sous 2 m/s de vent)
Mod02	3	–	Régulation "sous le seuil de production fictif" : mise en drapeau de l'éolienne lorsque le vent est inférieur à 3 m/s
Mod03	4,5	10	Régulation lorsque la vitesse du vent est inférieure à 4,5 m/s et la température au-dessus de 10°C
Mod04	6	10	Régulation lorsque la vitesse du vent est inférieure à 6 m/s et la température au-dessus de 10°C
Mod05	6	15	Régulation lorsque la vitesse du vent est inférieure à 6 m/s et la température au-dessus de 15°C

Pour apprécier au mieux l'effet des modalités de régulation et identifier les principaux facteurs d'efficacité, les suivis d'activité acoustique et de mortalité des chauves-souris ont été engagés sur la base d'un **protocole expérimental optimal** visant à limiter autant que possible les différents biais méthodologiques et d'échantillonnage. Les **relevés de la mortalité ont ainsi été engagés sous toutes les éoliennes du parc sur la base d'une recherche quotidienne** y compris week-end et jours fériés. Les **relevés d'activité acoustique étaient basés l'utilisation de deux enregistreurs à ultrasons par éolienne**, positionnés au niveau de la nacelle vers la partie basse du rotor et à la base du mât. Les données météorologiques et de fonctionnement des éoliennes ont également été relevées et prises en compte (vitesse de vent, direction, température, vitesse de rotation des pales, précipitations...).

Au niveau de l'analyse statistique des résultats, **les relations entre mortalité et modalités de régulation ont été testées à l'aide d'un modèle linéaire généralisé à effets mixtes (GLMM)** (package *lme4*, Bates et al. 2021, sous R). La mortalité a été décrite selon deux variables à expliquer : soit le nombre de cadavres détectés soit la présence ou absence d'au moins un cadavre par relevé.

Pour tester la **corrélation entre les différentes variables d'activité et la mortalité observée**, nous avons **utilisé des modèles additifs généralisés (GAM, Hastie and Tibshirani 1986)** à effets aléatoires (GAMM, Lin



and Zhang 1999). Un modèle a été réalisé pour chacune des variables explicatives potentielles puis l'ensemble des modèles a été comparé sur la base du coefficient de détermination, pseudo-R<sup>2</sup> ajusté.

Les analyses statistiques pour tester l'effet des variables météorologiques et de l'activité des éoliennes sur la mortalité sont identiques à précédemment en remplaçant les variables explicatives (activité) par des variables météorologiques et une variable décrivant le fonctionnement de l'éolienne à l'échelle de la nuit.

Pour comprendre l'effet de différentes variables climatiques sur l'activité chiroptérologique, nous avons utilisé des modèles additifs généralisés à effets aléatoires (GAMM) avec une fonction de lien de type *log* et une distribution négative binomiale (sur-dispersion des données d'activité) ou une fonction de lien de type *logit* et une distribution binomiale suivant les métriques utilisées pour quantifier l'activité (données de nombre ou de présence-absence d'au moins un contact).

## 3.2. Principaux résultats des tests expérimentaux des modalités de régulations (volet 2)

### 3.2.1. Effet des différents modes de régulation sur la mortalité observée

33 cadavres ont été découverts lors de 29 jours de prospection sur les 173 jours effectués entre 2019 et 2020. Parmi ces 33 cadavres, trois (9%) Noctules de Leisler, 21 (64%) Pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*), six (18%) Pipistrelles de Kuhl (*Pipistrellus Kuhl*), une (3%) Pipistrelles de Nathusius et deux (6%) pipistrelles indéterminées (commune ou pygmée) ont été identifiés. Aucun cadavre n'a été retrouvé sous les éoliennes les plus fortement régulées (mod4 et mod5).

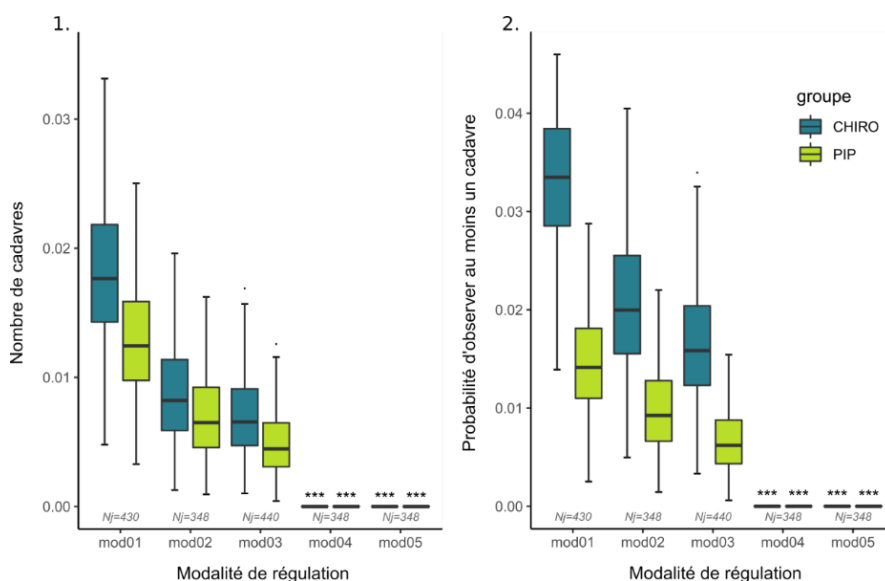


Figure 11. Distribution des estimations associées aux effets fixes de chaque modalité de régulation testée pour l'ensemble des espèces de chiroptères (CHIRO) et pour le groupe des pipistrelles (PIP).

Ces coefficients issus de GLMM correspondent au nombre de cadavres par nuit prédit (1) et à la probabilité d'observer au moins un cadavre (2) sous une éolienne régulée selon les différentes modalités : mod01 (sans régulation) mod02 (régulation sous 3m/s de vent), mod03 (régulation sous 4,5 m/s de vent et au-dessus de 10°C), mod04 (régulation sous 6m/s de vent et au-dessus de 10°C), mod05 (régulation sous 6 m/s de vent et au-dessus de 15°C). N=nombre de cadavres découverts. Nombre de jours de régulation cumulé répartis sur onze éoliennes : mod01 : 430, mod02 : 348, mod03 : 440, mod04 : 348, mod05 : 348. La significativité des comparaisons avec la modalité témoin est représentée au-dessus des groupes concernés (\* : p<0.05).

Aucun cadavre n'a été découvert sous les éoliennes bridées lorsque le vent était inférieur à 6 m/s et lorsque les températures étaient supérieures à 10°C (modalité 4) ou 15°C (modalité 5). Ces deux modalités sont significativement efficaces pour réduire la mortalité par rapport à des éoliennes non régulées.

Pour les deux autres modalités, le nombre de cadavres estimés diminue par rapport aux éoliennes témoin :

- De 56% lorsque les éoliennes sont mises en drapeau sous un vent de 3 m/s (modalité 2) ;
- Et de 61% lorsque les éoliennes sont mises en drapeau sous un vent de 4,5 m/s et lorsque les températures sont supérieures à 10°C (modalité 3).

Ces résultats ne sont cependant pas significatifs (intervalles de confiance élevés).

### 3.2.2. Effet de l'activité chiroptérologiques sur la mortalité

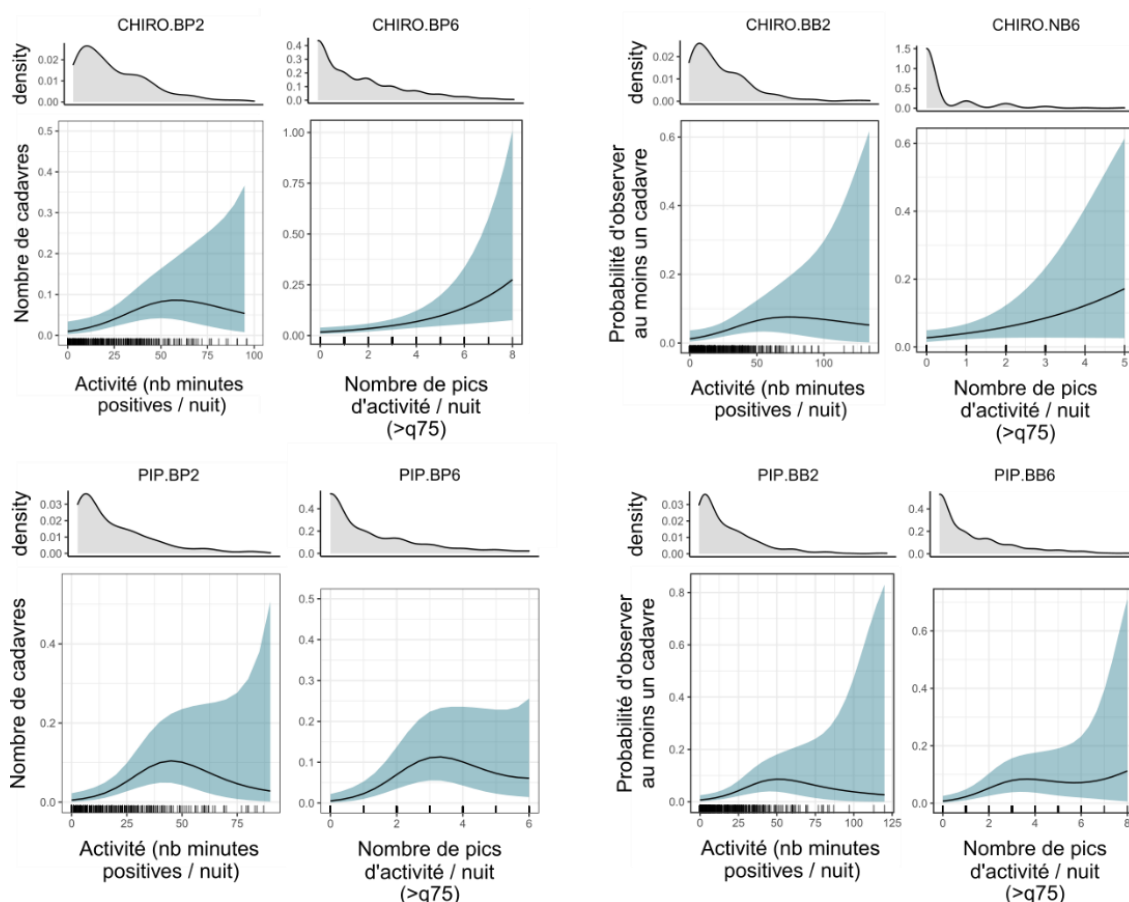


Figure 12. Effets de l'activité chiroptérologique sur le nombre de cadavres et la probabilité de découvrir au moins une mortalité.

Courbes de réponse des huit modèles GAMMs les plus parcimonieux avec effets significatifs. CHIRO : pour l'ensemble des espèces (Ncadavre=19) ; PIP : pour le groupe des pipistrelles seulement (Ncadavre=17). Code modèle : première lettre B = activité mesurée à la base de l'éolienne, et N = activité mesurée au niveau de la nacelle ; deuxième lettre : P = poisson ; B = binomial suivi du numéro du modèle (se référer à la Table 3). Les abscisses et les ordonnées des graphiques issues des modèles CHIRO.BP2, PIP.BP2 et PIP.BB5 ont été ajustées pour améliorer la visibilité (valeurs maximales). La distribution des données utilisées est présentée au-dessus des courbes de réponses.

L'activité mesurée à la base et en nacelle permet de prédire une partie des mortalités, mais ces résultats sont sensibles à la métrique d'activité utilisée. Les périodes de forte activité (« pic d'activité ») sont associées à un risque de mortalité plus élevé.

### **3.2.3. Effet de des variables météorologiques, temporelles et de fonctionnement de l'éolienne sur la mortalité**

La mortalité augmente significativement lorsque la température augmente et lorsque la vitesse du rotor diminue.

### **3.2.4. Effet des variables climatiques sur l'activité**

Les variables de température et de vitesse de vent apparaissent comme les deux variables les plus importantes pour expliquer l'activité des groupes CHIRO et PIP au sol et au niveau de la nacelle, suivi de la date et des précipitations. La part de variance expliquée par les modèles est cependant plus faible pour le groupe NOC, soulignant des difficultés à prédire l'activité pour ce groupe d'espèces que ce soit au sol ou en altitude. De plus, les patrons observés varient d'une année à l'autre.

## **3.3. Discussions (volet 2)**

### **3.3.1. Peut-on prédire l'activité des chiroptères à partir de variables climatiques et temporelles ?**

La température, la vitesse du vent et le temps (période de l'année) sont des variables pertinentes pour prédire une partie de l'activité à l'échelle de la nuit. Ces résultats sont en accord avec la littérature scientifique et sont cohérents avec l'écologie des espèces étudiées. Cependant, nous observons une diversité de réponses suivant les espèces considérées, avec une difficulté à prédire de manière satisfaisante l'activité des espèces du groupe des noctules. Ceci peut notamment s'expliquer par le caractère arboricole et migrateur de ces espèces associé à des comportements spécifiques à proximité des éoliennes. Ces différents types d'activité (ex. comportements sociaux, chasse et migration) ne sont pas distingués dans les différentes métriques d'activité utilisées, ne sont pas impactées de la même manière par les variables climatiques et présentent une variation saisonnière importante.

### **3.3.2. Un lien partiel mais significatif entre mortalité et activités**

Nous avons établi un lien significatif mais partiel entre certaines métriques d'activité (à la base et en nacelle) et la mortalité. Ce lien partiel souligne l'importance d'améliorer la résolution temporelle des données de mortalité, la détectabilité des cadavres et de réduire les biais de détection acoustique. De plus, l'activité mesurée ne permet pas de différencier l'âge et le sexe des individus ni le type d'activité (comportements sociaux, activité de chasse, transit ou migration). Or, certains comportements (ex. interactions sociales en période de reproduction, parades nuptiales des espèces arboricoles) et un manque d'expériences (cas des juvéniles) pourraient être associés à un risque de collision plus élevé. Ces éléments sont des sources de variabilité de l'activité et des risques mortalités difficiles à modéliser à partir des données récoltées.

## **3.4. Simulations de différents pratiques de régulation sur le jeu de données expérimental d'OPRECh**

Les investigations du volet 2 ont permis de recueillir un jeu de données expérimentales (activité, mortalité) d'une qualité exceptionnelle. Cela offrait l'opportunité de « mettre en situation » les différents modes de dimensionnement de la mesure régulation (préventif sous seuil de production, préventif conventionnel, prédictif classique, prédictif sur le modèle standardisé Renebat (KJM), prédictif avec approche qualitative des comportements (EXEN), dynamiques, etc.) afin d'analyser quelle aurait été l'efficacité du conseil promulgué sur la maîtrise des mortalités pour chacun de ces modes.

Cette rétro analyse a montré que ;

- le **mode de régulation préventif sous seuil de production** aurait théoriquement permis de réduire sensiblement (-56%) les mortalités générées par le parc non régulé ;
- les **modes de régulation prédictifs**, qu'il s'agisse de la méthode du modèle standardisé Renebat ou de la méthode d'approche comportementale fine, auraient tous deux théoriquement permis de réduire entre 61 et 100% de la mortalité générée par le parc non

- le **mode de régulation préventif basé sur les seuils conventionnels** de 6 m/s et 10°C, aurait théoriquement permis d'éviter toute mortalité de chauves-souris.

Evidemment, plus le scénario est conservateur et plus la production d'énergie sera impactée

### 3.5. Simulation de l'effet du choix de la pression de suivi de la mortalité sur la perception de l'impact

La pression de suivi exceptionnelle réalisée dans le cadre du volet 2 (un passage tous les jours pendant trois mois) permet une estimation relativement proche du nombre réel de mortalités (même si potentiellement légèrement sous-estimé). C'était donc l'occasion de simuler statistiquement les résultats qui auraient pu être obtenus pour des pressions de suivi inférieures à une visite par jour (deux visites par semaine, une visite par semaine et quatre visites aléatoires) et de calculer le nombre de mortalités brutes et le taux de mortalité qui auraient été obtenus avec ces différentes pressions de suivi.

Les différents échantillonnages de suivi simulés aboutissent globalement à une surestimation du taux de mortalité par rapport à un taux de mortalité calculé sur la base d'une pression de suivi quotidienne. Cette surestimation est liée aux formules utilisées qui prennent en compte les incertitudes induites par la pression de suivi. Toutefois, plus la pression de suivi est importante, plus les taux de mortalité calculés sont précis et moins dispersés, permettant d'obtenir des résultats exploitables et comparables entre différents parcs éoliens.

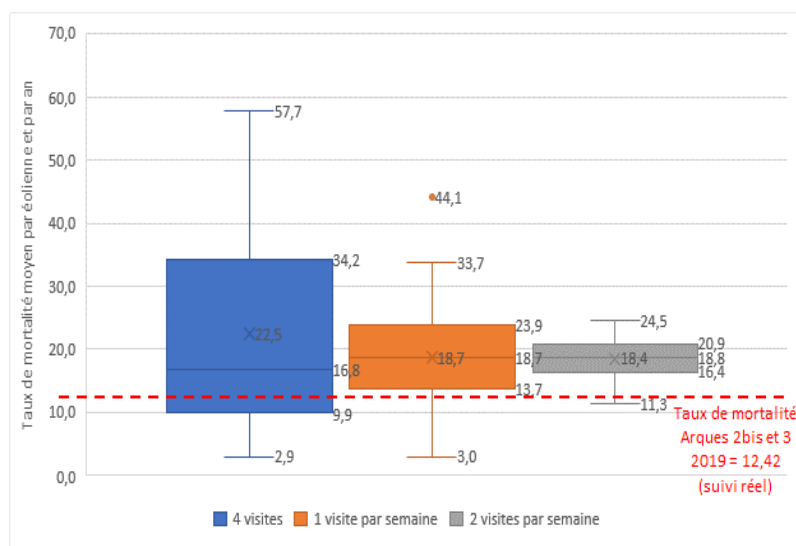


Figure 13 : Taux de mortalité par éolienne et par an simulé pour 100 répliques de différentes pressions de suivi sur Arques 2bis & 3, par rapport au taux de mortalité réel calculé en 2019.

Que l'on se fie au nombre de mortalités brutes ou au taux de mortalité, les protocoles de suivi de la mortalité au niveau des parcs éoliens à enjeux chiroptérologiques ont **tout intérêt augmenter la pression selon les sites et périodes à deux visites par semaines pour obtenir des données robustes et analysables à large échelle**. Les prescriptions d'une mesure de régulation des éoliennes en faveur des chiroptères en seront plus précises et plus adaptées aux enjeux réels perçus sur le site, limitant alors le nombre d'années de suivi de la mortalité nécessaires pour comprendre l'impact réel d'un parc sur les populations de chiroptères et pour agir de façon proportionnée.

## 4. Volet 3 : Contraintes, leviers et recommandations vers une mesure de régulation optimisée en France

---

### TROIS PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS D'OPRECH VERS UNE SYSTEMATISATION DE LA MESURE EN FRANCE

- Premier enseignement d'OPRECh (volet 1) : **moins de la moitié du parc éolien national bénéficierait en 2020 d'une mesure de régulation** en faveur des chiroptères ;
- Deuxième enseignement d'OPRECh (volets 1 et 2) : lorsqu'elle est mise en place, **cette mesure est globalement efficace pour réduire la mortalité** des chauves-souris générée par les éoliennes (réduction de 30 à 100% des mortalités). L'efficacité est toutefois variable, d'autant plus efficace que l'intensité de régulation est importante et d'autant plus variable que l'intensité de régulation est faible. Les régulations à faible seuils de vent peuvent toutefois être efficaces lorsque bien dimensionnées ;
- Troisième enseignement d'OPRECh (volet 1) : des **problèmes de mauvaise mise en œuvre effective de la mesure semblent notables** (la moitié des parcs serait concernée) et **sous-évalués** (1/4 des rapports évoquent ce biais) dans l'analyse de l'efficacité de la mesure. Aussi, si l'efficacité générale de la mesure est déjà importante dans ces conditions, on suppose qu'elle le sera d'autant plus si les problèmes de mise en œuvre sont résolus.

Ces trois enseignements devraient inciter à **systématiser la mise en œuvre d'une mesure de régulation pour tous les parcs en exploitation et les nouveaux projets**. Car au-delà de la façon dont la mesure est réfléchie, dimensionnée ou mise en œuvre, et malgré les lacunes de connaissance sur l'état des populations, **cette généralisation de la mesure aura rapidement un effet massif de réduction des impacts à large échelle sur les populations de chiroptères** (cf. Friedenberg & Frick, 2021).

### DES CONTRAINTES GENERALES A LEVER

- Systématiser la mesure sur tous les projets les plus récents ;
- Contexte réglementaire de suivi tous les 10 ans à valoriser pour engager ou optimiser les mesures des parcs en exploitation ;
- Démarche volontaire et vertueuse possible pour anticiper les échéances réglementaires ;
- Envisager la mesure lors d'un projet de repowering pour résoudre les contraintes techniques d'implémentation de la mesure sur les parcs éoliens les plus anciens. Certaines solutions techniques sont parfois aussi possibles sur les parcs les plus anciens ;
- Mise en place d'une régulation préventive sous seuil de production pour les parcs non régulés pour des raisons justifiées.

### DES LEVIERS POSSIBLES A ENVISAGER

- Renforcer le cadrage, l'accompagnement et les prescriptions techniques à l'échelle nationale et régionale ;
- Inciter au développement de groupes de travail et réseaux d'acteurs à l'échelle nationale pour s'accorder, former, partager ces expériences et produire des guides techniques ;
- Clarifier le vocabulaire technique ;
- Donner aux services de l'état les moyens de suivre la progression du taux de parcs régulés ;
- Communiquer pour faire prendre conscience et trouver des solutions de suivis face aux différents problèmes de mise en œuvre effective de la mesure (retard de mise en œuvre en début de campagne, dysfonctionnement ponctuels, problèmes d'horodatages fins, etc.)

## TROIS GRANDS PRINCIPES ESSENTIELS A RESPECTER DANS LES ETUDES

- **Principe de transparence et d'argumentation scientifique** : la présentation détaillée des résultats et des décisions argumentées doivent revenir au cœur des rapports pour que la réduction d'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris s'appuie sur une démarche scientifique.
- **Principe d'humilité vers la qualité des études et la progression des connaissances** : les connaissances sur l'écologie de vol des chauves-souris en plein ciel et ses facteurs d'influence sont encore limitées. Il est important d'exploiter toutes les données disponibles et d'éviter ou limiter autant que possible toutes démarche conduisant à simplifier ou échantillonner l'information dans les études (ex. pression de suivi, échantillonnage d'analyse de données). Il est aussi conseillé de multiplier les sources d'informations et les critères d'analyse pour prendre des décisions pertinentes.
- **Principe de proportionnalité au cas par cas et de recherche de compromis entre l'intérêt des chiroptères et de la production d'énergie** : éviter tout préjugé et conclusion hâtive sous prétexte d'un « dire d'expert ». Chaque site doit être traité au cas par cas, sans à priori, avec la recherche constante du meilleur compromis entre la protection des chauves-souris et la production d'énergie, sur la base d'un jeu de données représentatif de la situation du site.

## RECOMMANDATIONS POUR LA PHASE DE SUIVI DE L'ACTIVITE EN HAUTEUR

- Généraliser le suivi d'activité en hauteur ET en continu (sans échantillonnage). Même si le suivi en hauteur ne permet qu'une perception partielle de l'activité, l'absence de suivi en hauteur exclue toute possibilité de dimensionnement proportionné du pattern de régulation ;
- Inciter à développer le suivi d'activité en continu proche du sol en parallèle des suivis en hauteur, notamment pour les parcs à grands rotors et en contextes forestiers, bocagers denses ;
- Retenir des unités de mesure d'activité pertinentes et argumentées ;
- Développer l'utilisation de référentiels d'activité par type de matériel acoustique et de conditions de mise en œuvre, avec présenter comment ces référentiels ont été définis ;
- Présenter clairement les biais et limites inhérentes aux méthodes de suivis acoustiques ;
- Présenter les résultats sous la forme d'une synthèse chronologique d'activité par nuit, par espèces ou groupes d'espèces, utilisée comme campagne d'activité de référence pour le site, avec présentation des seuils du référentiel d'activité associé ;
- Réaliser une analyse croisée détaillée l'effet des différents paramètres climatiques et temporels (vitesse de vent, température, horaires, périodes, précipitations, etc.) sur l'activité chiroptérologique de référence ;
- Privilégier des critères d'analyse pertinents, justifiés et variés ; ex. ne pas uniquement se baser sur le pourcentage d'activité « protégé » par la régulation. Seul le niveau d'activité résiduel à risque après mise en œuvre de la mesure devrait permettre de valider ou non la décision de retenir le pattern de régulation.



## RECOMMANDATIONS POUR LA PHASE DE SUIVI DE LA MORTALITE

- Respecter à minima les protocoles en vigueur en termes de pression de suivi de la mortalité, en privilégiant une pression de suivi à deux visites par semaines sur les périodes les plus à risque, en adaptant les protocoles de suivi à l'aide d'outils adaptés (ex. EolPower) ;
- Utiliser et présenter les intervalles de confiance pour présenter les résultats d'estimation de la mortalité ;
- Privilégier des critères d'analyse justifiés et variés. L'estimation du taux de mortalité par les méthodes et formules standardisées reste le critère de comparaison à la fois réglementaire (cf. protocole de suivi environnemental) et le plus fiable ;
- Détailler l'approche qualitative de l'impact par mortalité (espèces, patrimonialité, périodes, phénologies, comportements, effet des conditions climatiques, etc.) ;
- Analyser l'efficacité d'une mesure de régulation en se basant à la fois sur l'évolution des résultats de mortalité entre avant et après mise en place de la mesure, sur le niveau de mortalité résiduel et sur une approche qualitative des mortalités résiduelles (espèces, enjeux...), et en tenant compte de l'évolution de l'activité ;
- Comparer les résultats de mortalité du site avec ceux recueillis à l'échelle locale et régionale pour estimer les effets cumulatifs.

## RECOMMANDATIONS POUR LA PRISE DE DECISION, LE DIMENSIONNEMENT ET LE CONTROLE DE LA MESURE DE REGULATION

- Juger du caractère « significatif » ou « non significatif » de l'impact résiduel des mortalités et donc de l'efficacité de la mesure en se basant à la fois sur :
  - Une **approche quantitative** (évolution des mortalités avant et après mesure, taux de mortalité résiduel après mesure), dont quelques seuils ont été proposés mais restent à définir par une démarche concertée au niveau national ;
  - Une **approche qualitative** (caractère patrimonial et sensible des espèces, statut biologique, effets cumulés à l'échelle de leur domaine vital, etc). Les espèces phares à prendre en compte comme les plus patrimoniales et sensibles pour faire évoluer les conclusions sont notamment les espèces de haut-vol et ou migratrices ;
  - Et en **tenant compte des résultats d'activité** ;
- Tenir compte des éventuels problèmes de mise en œuvre effective de la mesure qui limitent aussi toute possibilité d'optimisation de la mesure (analyse croisée des données historiques de fonctionnement des éoliennes et des conditions climatiques) ;
- Privilégier plusieurs méthodes parallèles pour analyser les risques et dimensionner un pattern de régulation (ex. mode de régulation prédictif standardisé de type Renebat pour sécuriser l'approche quantitative et le mode prédictif basé sur l'approche comportementale fine pour affiner qualitativement la mesure) ;
- Adapter le mode de régulation au type de données sources disponibles et tenir compte des limites et avantages de chacun au cas par cas ;
- Tenir compte des repères et des retours d'expériences positifs pour aider à un choix pondéré des paramètres et des seuils du pattern à retenir ;
- Anticiper la mise en œuvre d'une mesure préventive ou corrective de régulation sans attendre la fin de campagne de suivi en cas de surmortalités en cours de suivis ;
- Tester différents scénarios de régulation pour argumenter la pertinence du choix retenu ;
- Produire un document conclusif sur la mesure de régulation à mettre en œuvre ou à réviser et proposer une synthèse standardisée des résultats en fin de rapport ;
- Faciliter l'accès aux rapports d'études d'impacts et de suivis environnementaux pour réaliser des analyses de synthèse et valoriser les retours d'expérience.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

Cf. rapport OPRECh

## INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

---

### TABLEAUX

Tableau 1 : Description des différentes modalités de régulation étudiées .....	15
--	----

### FIGURES

Figure 1 : Proportions de parcs régulés, non régulés ou de statut inconnu en France (gauche) et proportions en excluant les parcs sans information (droite).....	9
Figure 2 : Années de première mise en place d'une mesure de régulation sur les parcs éoliens de France métropolitaine.....	9
Figure 3 Histogramme de l'évolution temporelle des principales sources de données du processus de régulation.....	10
Figure 4 Mode de régulation engagé selon le type de suivi acoustique utilisé dans le cadre des études d'impact d'un nouveau projet.....	10
Figure 5 Histogramme de fréquence et diagramme en boîte de la durée des études acoustiques en hauteur dans l'échantillon de rapports de suivis d'impact.....	11
Figure 6 Répartition régionale des moyennes et écarts types de nombre de passages de suivis de la mortalité, toutes périodes confondues .....	12
Figure 7 Proportion et évolution des modes de régulation retenus dans le cadre de suivis d'impacts de parcs exploités.....	12
Figure 8 Typologie des principales causes d'écarts constatés entre le pattern et la mise en œuvre effective de la régulation.....	13
Figure 9 Evolution du taux de mortalité entre avant et après mesure de régulation en fonction du seuil moyen de vitesse de vent du pattern de régulation .....	14
Figure 10 Evolution de l'impact par mortalité mesuré en moyenne entre avant et après mesure de régulation selon le seuil de vitesse de vent moyen du pattern de régulation .....	14
Figure 11. Distribution des estimations associées aux effets fixes de chaque modalité de régulation testée pour l'ensemble des espèces de chiroptères (CHIRO) et pour le groupe des pipistrelles (PIP).....	16
Figure 12. Effets de l'activité chiroptérologique sur le nombre de cadavres et la probabilité de découvrir au moins une mortalité .....	17
Figure 13 : Taux de mortalité par éolienne et par an simulé pour 100 répliques de différentes pressions de suivi sur Arques 2bis & 3, par rapport au taux de mortalité réel calculé en 2019. ....	19

## SIGLES ET ACRONYMES

---

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
OPRECH	Optimisation des Processus de Régulation des Eoliennes en faveur des Chiroptères

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



## Programme OPRECh

Programme de recherche appliquée ciblé sur la mesure de régulation des éoliennes pour réduire les mortalités des chauves-souris.

Le premier volet (1) est une démarche de recherche bibliographique destinée à faire un premier bilan de l'état de développement de la mesure à l'échelle nationale et de caractériser les pratiques de l'ensemble du processus de régulation. Il montre que moins de la moitié du parc national bénéficie de cette mesure, mais que la mesure est efficace quand elle est mise en œuvre. Les pratiques sont diversifiées mais tendent à progresser et à s'homogénéiser.

Le deuxième volet (2) expérimental teste l'efficacité de différentes modalités régulièrement utilisées et analyse les possibilités de prédiction du risque de mortalité avec une diversité de paramètres. Il confirme une efficacité significative avec les patterns les plus régulièrement utilisés et valide l'utilisation de certaines variables comme pertinentes pour prédire le risque. Mais l'activité des chiroptères reste globalement difficile à modéliser précisément, même à l'échelle d'un site.

Le troisième volet (3) synthétise les résultats sous forme de contraintes, leviers et recommandations. Il invite les acteurs vers des pratiques et des principes en faveur d'une systématisation rapide et à large échelle du développement de cette mesure et vers différents leviers d'optimisation.

### Essentiel à retenir

*Une mesure efficace en devenir qui mérite d'être généralisée, accompagnée et optimisée via différents leviers à l'échelle du parc éolien Français.*

