



# BIODIVERSITÉ ET ÉOLIEN *OFFSHORE*

Limiter l'impact de l'énergie éolienne marine sur la faune volante : synthèse des recommandations en l'absence d'évaluations d'efficacité

Face à l'urgence climatique, la réduction rapide des émissions de gaz à effet de serre est indispensable. La production électrique issue des énergies fossiles étant l'une des principales sources d'émissions de CO<sub>2</sub>, la transition énergétique vers les énergies renouvelables est un enjeu majeur pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. L'éolien marin, appelé *offshore*, apparaît être une solution stratégique pour répondre à la demande croissante d'électricité décarbonée, diversifier le mix énergétique et renforcer l'autonomie des États. Néanmoins, malgré ses bénéfices climatiques, il nécessite des infrastructures conséquentes qui perturbent le milieu dans lequel elles sont implantées. Cela pose des défis environnementaux majeurs, notamment en matière de biodiversité : perturbation dans la colonne d'eau sur les habitats benthiques (fonds marins), émissions sonores susceptibles de nuire aux mammifères marins, risques de collision pour les oiseaux et chauves-souris, etc.

Cette « Clé pour comprendre » s'appuie sur une revue de la littérature scientifique traitant de l'éolien en mer et de la faune volante (oiseaux, chauves-souris, insectes). Faute d'études évaluant directement l'efficacité des mesures d'atténuation des impacts, elle se concentre sur les recommandations émises par les scientifiques concernant ces mesures, à destination de la communauté scientifique, des développeurs et opérateurs de parcs éoliens marins, et des États.



# Impacts de l'éolien *offshore* : de quoi parle-t-on ?

Dans le contexte actuel d'urgence climatique, la transition énergétique vers des sources renouvelables est essentielle pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. **L'éolien offshore apparaît comme une solution stratégique** pour permettre cette transition et répondre à la demande croissante d'électricité décarbonée, diversifier le mix énergétique et renforcer l'autonomie des États. C'est dans ce contexte qu'en 2022, la filière industrielle nationale de l'éolien en mer a conclu avec l'État français un « pacte éolien en mer », fixant pour objectif l'attribution de 2 GW (GigaWatt) de nouveaux projets par an dès 2025, ainsi qu'une capacité installée de 18 GW d'ici 2035 et 40 GW à l'horizon 2050.

La séquence « **Éviter, Réduire, Compenser** » (ERC) ainsi que les outils réglementaires associés (évaluation environnementale stratégique, études d'impact) encadrent le développement des projets en mer et constituent une approche centrale pour **réduire les effets de l'éolien offshore sur les écosystèmes**. Le véritable enjeu consiste désormais à **concilier l'accélération nécessaire du déploiement de l'éolien offshore avec la préservation effective de la biodiversité**.

## ZOOM SUR LES ÉLÉMENTS CLÉS DE CETTE SYNTHÈSE



Les terrains des études scientifiques d'où proviennent les recommandations se concentrent principalement en **Europe et aux États-Unis, en mer du Nord, dans l'océan Atlantique nord, en mer Baltique et en mer Celtique**.



Les recommandations les plus nombreuses concernent **les oiseaux**, en particulier les espèces marines et migratrices, puis **les chauves-souris**. Aucune étude ne traite spécifiquement de recommandation pour les insectes.



### Les recommandations s'intéressent :

- aux outils de planification et d'évaluation des impacts ;
- à l'implantation et au positionnement des parcs et des éoliennes ;
- aux modifications opérationnelles, mesures technologiques ou techniques ;
- à la recherche et développement.



## Le *micro-siting* et le *macro-siting*

La mesure de *micro-siting*, ou optimisation spatiale des turbines à l'échelle du parc, vise à réduire les impacts des parcs éoliens en mer sur l'avifaune et les chauves-souris en **ajustant l'agencement interne des turbines**. Contrairement à la planification à grande échelle, qui **détermine la localisation générale des projets** (*macro-siting*), le *micro-siting* affine ces choix à l'échelle locale et se concentre sur l'architecture du parc éolien lui-même : disposition, orientation, espacement des turbines et conservation de corridors de vol.

## REGARD D'EXPERTS

Dans une dynamique de co-construction des connaissances autour des mesures d'atténuation des impacts de l'éolien en mer sur la faune volante, la **Fondation pour la recherche sur la biodiversité** (FRB) a donné la parole à des **représentants de la filière éolienne** (développeurs, bureaux d'études), **d'établissements publics** tels que l'Ademe, à des **organisations internationales de conservation** telles que l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), ou encore à des **instituts de recherche**. Les experts ont ainsi discuté des résultats de cette synthèse et partagé leur retour d'expérience ancré dans la réalité opérationnelle des projets en mer menés en France.

Leurs retours révèlent une **mobilisation croissante autour des enjeux d'atténuation des impacts de l'éolien en mer sur la faune volante**. Si les pratiques diffèrent encore selon les profils institutionnels, les contextes techniques et les cadres réglementaires, plusieurs lignes de force se dégagent avec clarté :

- la reconnaissance partagée de l'importance d'agir à la fois sur la **planification en amont** et sur

### l'efficacité quantifiée des mesures appliquées sur les parcs.

- un constat commun sur la nécessité de **structurer la gouvernance scientifique des données**, d'harmoniser les méthodologies et d'ouvrir les dispositifs à l'expérimentation écologique encadrée.

Ces échanges montrent que les outils existent, les savoirs s'accumulent, mais que leur mobilisation reste entravée par des freins institutionnels, culturels et organisationnels. Pour les surmonter, il est indispensable de **sortir d'une logique de conformité individuelle pour aller vers une dynamique collective**, fondée sur le partage de la connaissance, l'ouverture des données et la coopération entre recherche, industrie et pouvoirs publics.

Cette synthèse des « regards d'experts » appelle à une évolution du modèle de gouvernance environnementale du secteur : un modèle capable de faire **coexister les ambitions énergétiques et les impératifs écologiques**, dans une logique de progrès continu, de transparence et de confiance mutuelle.

## MESURES POUR ATTÉNUER L'IMPACT DES ÉOLIENNES SUR LA BIODIVERSITÉ VOLANTE

Conformément à la cible 15 du [cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal](#), tous les acteurs économiques, doivent réduire les impacts négatifs sur la biodiversité, y compris les impacts des solutions pour atténuer le changement climatique. Ainsi, la production énergétique, comme les autres activités humaines, doit transiter vers des actions plus durables, tout en préservant la biodiversité. Pour favoriser cette transition et réduire les impacts de l'éolien *offshore*, des recommandations issues de la littérature scientifique sont proposées à destination de la communauté scientifique, des développeurs et opérateurs d'éoliennes en mer et des États afin d'en réduire les impacts.



### PLANIFICATION SPATIALE

La **planification spatiale des parcs éoliens marins** constitue un levier majeur pour prévenir les impacts écologiques sur les oiseaux marins et les chauves-souris migratrices. L'ensemble des travaux examinés converge vers une approche à la fois précautionneuse et collaborative, fondée sur les données.

Cette planification repose sur plusieurs piliers complémentaires.

- D'abord, **l'acquisition et le partage de données robustes** sont indispensables pour alimenter des décisions de localisation fondées. Ils reposent sur des études ciblées, des protocoles de suivi standardisés et des plateformes collaboratives ouvertes.
- Ensuite, **les outils d'évaluation d'impact**, qu'ils soient **cartographiques, statistiques ou modélisés** permettent de projeter les risques de manière prospective et d'identifier les zones de plus haute vulnérabilité pour la faune volante. La localisation stratégique

des projets, incluant l'exclusion des zones sensibles, la création de zones tampons et le respect des corridors migratoires, renforce cette logique de prévention.

- Enfin, à une échelle plus fine, le **micro-siting** permet d'ajuster la configuration interne des parcs afin d'améliorer leur perméabilité écologique tout en optimisant leur efficacité énergétique.

Ce cadre spatial ne peut toutefois être efficace sans une **coordination transnationale**, un **engagement multipartite** et une **adaptation continue fondée sur les retours d'expérience et l'évolution des connaissances**. Face à l'essor rapide de l'éolien *offshore* et à la complexité des dynamiques écologiques marines, la planification spatiale apparaît non comme une simple étape technique, mais comme une démarche intégrée, à la croisée de la science, de la gouvernance environnementale et de l'aménagement durable du territoire maritime.



### PLANIFICATION TEMPORELLE

La **planification temporelle** est une mesure d'atténuation pragmatique, complémentaire de la planification spatiale. Fondée sur les rythmes biologiques des espèces sensibles, elle permet d'ajuster le calendrier des phases les plus intrusives des projets pour en limiter l'impact.

Les données disponibles montrent que des perturbations durant des périodes critiques peuvent engendrer des effets écologiques notables, comme une baisse du succès reproducteur ou une modification des comportements de recherche alimentaire. En réponse, une temporalisation raisonnée des interventions apparaît comme un levier de prévention prometteur. Elle suppose une connaissance fine des espèces locales et un suivi écologique rigoureux.

#### RETOUR D'EXPÉRIENCE

Au Royaume-Uni, dans le parc éolien *offshore* de Kentish Flats, une mesure de réduction ciblant l'avifaune a été mise en place. Celle-ci consistait à planifier les phases de chantier en dehors de la période de forte concentration des plongeurs des oiseaux aquatiques. Les opérations de battage des pieux et de mise en place des turbines ont ainsi été menées en dehors de l'hivernage ce qui a permis d'éviter toute interférence notable avec ces espèces.



### BRIDAGE DES TURBINES

Qu'elles soient générales ou ciblées, adaptatives ou prédictives, les différentes **stratégies de bridage** apparaissent comme des outils indispensables pour diminuer efficacement les effets des parcs éoliens *offshore* sur la biodiversité volante. Toutefois, leur succès opérationnel exige une connaissance approfondie des comportements des espèces ciblées, ainsi qu'une évaluation rigoureuse et continue de leur efficacité en contexte réel avec un minimum de perte d'efficacité énergétique.

**Pour cela, trois conditions sont nécessaires :**

- déployer des technologies de détection de dernière génération ;

- généraliser les suivis comportementaux et environnementaux spécifiques aux sites d'installation ;
- instaurer une gestion intégrée et collaborative à l'échelle régionale et internationale.

À terme, ces approches permettront non seulement une réduction significative des risques écologiques associés à l'éolien marin, mais également une meilleure acceptabilité sociale et économique de ces projets dans une perspective de durabilité à long terme.



## VISIBILITÉ DES TURBINES

Les mesures visant à améliorer la **visibilité des éoliennes** reposent sur une logique de précaution et d'anticipation : il s'agit de concevoir des infrastructures plus perceptibles pour les espèces sensibles, en s'appuyant sur une compréhension fine de leur écologie sensorielle et de leurs comportements en vol.

Les actions identifiées incluent notamment la **gestion de l'éclairage**, l'**introduction de contrastes visuels marqués**, le **choix de couleurs moins attractives**, ou encore l'**adaptation des dimensions physiques des turbines**, telles que la garde au sol ou le diamètre du rotor.

Ces mesures, en grande partie issues de travaux interdisciplinaires croisant écologie sensorielle, ingénierie et biomécanique du vol doivent encore faire l'objet de validations empiriques en contexte marin.



### Quels sont les avantages ?

- Pour les **opérateurs**, ces éléments offrent des pistes d'innovation technique compatibles avec les exigences de sécurité et les contraintes réglementaires.
- Pour les **scientifiques**, ils ouvrent un champ de recherche appliquée essentiel à l'évaluation des interactions espèces-infrastructures.
- Pour les **décideurs**, ils renforcent l'idée que la conception de parcs éoliens respectueux de la biodiversité passe par une intégration fine des connaissances écologiques dans les choix techniques.

Dans cette perspective, la visibilité des turbines s'impose comme un levier complémentaire de réduction des risques, à considérer en parallèle d'autres mesures plus structurelles comme le *micro-siting*, le bridage ou la planification spatiale.



## MESURES DE DISSUASION

Les **mesures de dissuasion** visant à limiter les interactions entre la faune volante et les éoliennes marines restent un champ d'expérimentation peu mature. La plupart des dispositifs identifiés – acoustiques, lumineux, texturés ou électromagnétiques – proviennent d'essais terrestres et restent non documentés en contexte marin. Leur efficacité varie selon les espèces, avec un risque d'habituation rapide.

Certaines solutions, telles que les ultrasons ou les systèmes anti-perchoir, semblent

prometteuses, mais nécessitent encore des tests en mer, tandis que d'autres, comme les lasers, revêtements ou éclairages UV, en sont au stade de prototypes expérimentaux.

Dans ce contexte, les dispositifs de dissuasion doivent être considérés comme des compléments potentiels à d'autres mesures plus éprouvées (planification spatiale, *micro-siting*, bridage). Leur développement futur dépendra d'un investissement en recherche appliquée, en lien étroit avec les connaissances écologiques des espèces concernées et les

contraintes d'exploitation *offshore*. Pour les développeurs et les décideurs, il s'agit d'un domaine à suivre activement, en soutenant des projets pilotes et des programmes de

validation scientifique, afin de déterminer si certaines solutions peuvent être intégrées de manière opérationnelle dans les prochaines générations de parcs éoliens marins.



## RENOUVELLEMENT DU PARC ÉOLIEN OU « REPOWERING »

Le **renouvellement des parcs éoliens** représente une opportunité émergente pour intégrer plus efficacement les enjeux de biodiversité dans la gestion à long terme des infrastructures *offshore*. En permettant un réaménagement spatial et technologique du parc, cette phase offre la possibilité d'appliquer des mesures d'atténuation ciblées, telles que le *micro-siting* ou le retrait de turbines à impact élevé, sur la base d'une meilleure connaissance accumulée au fil du temps.

Cependant, pour que cette stratégie devienne un réel levier de réduction des impacts sur les oiseaux et les chauves-souris, elle suppose la mise en place de protocoles de suivi écologique robustes et continus, capables d'identifier les turbines les plus problématiques. Or, la disponibilité de données fines en mer reste aujourd'hui un défi majeur. La réussite du renouvellement comme outil d'atténuation dépendra donc d'un investissement accru dans le suivi environnemental *offshore* et d'un cadre de gouvernance encourageant l'exploitation active de ces données dans les phases de reconfiguration des projets.



## MESURES COMPENSATOIRES

Les **mesures compensatoires** constituent un outil de dernier recours dans la hiérarchie des stratégies d'atténuation, destiné à contrebalancer les impacts résiduels des parcs éoliens marins sur les oiseaux et les chauves-souris, lorsque les options d'évitement et de réduction ont été pleinement mobilisées.

Leur mise en œuvre repose sur une diversité d'approches complémentaires : restauration d'habitats, actions de conservation ciblées et planifications stratégiques.

Ces mesures doivent être soigneusement planifiées, adaptées aux espèces concernées et évaluées dans la durée pour garantir qu'elles compensent effectivement les pertes écologiques générées. Des initiatives comme

la suppression de prédateurs invasifs, la création de colonies sécurisées, ou encore le financement de programmes alternatifs de conservation, offrent des pistes concrètes pour renforcer la résilience des populations affectées.

Cependant, leur succès s'accompagne d'une forte incertitude et repose sur des conditions strictes : un suivi rigoureux, une coordination interrégionale et une intégration dans une stratégie environnementale globale. **Il est donc essentiel que les mesures compensatoires ne soient pas perçues comme un substitut aux efforts d'évitement, mais bien comme un complément ciblé, mobilisé avec précaution, transparence et dans une logique de conservation à long terme.**



## RECOMMANDATIONS POUR DIMINUER LES RISQUES SUR LA BIODIVERSITÉ

### ANIMAUX CONCERNÉS PAR LES RECOMMANDATIONS



Oiseaux



Chauves-souris












Insectes

### POUR LES DÉVELOPPEURS ET OPÉRATEURS DE PROJETS

Comme pour le reste du secteur privé, les développeurs et opérateurs d'éoliennes doivent contrôler, évaluer et communiquer régulièrement et de manière transparente leurs risques, leurs dépendances et leurs impacts sur la biodiversité, sur l'ensemble de leurs chaînes d'approvisionnement et de valeur et fournir les informations nécessaires aux consommateurs pour promouvoir des modes de consommation durables. Les recommandations ci-après, issues de la revue de la littérature scientifique, permettent d'avancer vers ces objectifs.





Recommandations		Actions spécifiques	Animaux impactés
Planification spatiale et choix du site	Sélectionner en priorité des zones à faible risque écologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en place des zones tampons minimales autour des colonies et des sites Natura 2000 identifiés</li> <li>Utiliser la télédétection (radar météo, imagerie satellite) pour repérer les axes migratoires</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Prioriser une planification spatiale pilotée par l'État, fondée sur des données écologiques consolidées, afin d'éviter les zones à forts enjeux de biodiversité</li> <li>Utiliser des cartes de sensibilité faunistique et des inventaires naturalistes pour exclure les corridors de migration majeurs</li> <li>Appliquer un indice de risque multicritère (densité d'oiseaux, hauteur de vol, concentration de chiroptères, attractivité lumineuse) dès l'étude d'impact environnemental (EIE)</li> <li>Conduire une analyse d'impacts cumulatifs intégrant les futurs projets planifiés sur le long terme</li> </ul>	 
Technologies de dissuasion	Expérimenter des dispositifs d'effarouchement complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installer des peignes antiperchoir sur les nacelles et plateformes de maintenance</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Déployer des émetteurs ultrasoniques directionnels activés automatiquement lorsque la vitesse du vent est inférieure à 6 m/s</li> </ul>	






Planification temporelle des travaux	Programmer les activités intrusives hors périodes sensibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Établir un calendrier faunistique local précisant reproduction, migration, hivernage</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser des matériels à faible niveau sonore ou poser des écrans antibruit mobiles quand les travaux ne peuvent être décalés</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en place un système d'alerte météomigration pour suspendre les activités lors de passages massifs</li> <li>Décaler battage de pieux, câblage et levage hors des pics de sensibilité des espèces</li> </ul>	
Conception et implantation générale du parc (macro-siting)	Optimiser la localisation des parcs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exclure les couloirs migratoires critiques</li> <li>Exclure les zones à forte densité d'individus ou habitats essentiels (colonies, aires de rassemblement, sites de nourrissage, ...)</li> <li>Définir des zones tampons de sécurité autour des habitats sensibles, avec distances adaptées aux espèces critiques</li> </ul>	 
Conception et implantation fine du parc (micro-siting)	Optimiser le placement et le dessin des éoliennes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajuster l'orientation des rangées afin de minimiser les barrières perpendiculaires aux couloirs aériens</li> <li>Augmenter le tirant d'air sous pâles (airgap) afin de réduire le risque de collision avec les oiseaux volant à basse altitude</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégrer des modèles de flux de vent et d'altitude de vol pour fixer le tirant d'air sous pâles (airgap) optimal</li> <li>Prévoir des couloirs internes non équipés servant de corridor de déplacements pour les espèces</li> <li>Ajuster le plan d'implantation après une année de suivi radar mobile et modélisation des couloirs de vol</li> <li>Réduire le nombre de turbines dans les zones écologiquement sensibles repérées lors des études préalables</li> </ul>	 
Renouvellement des installations	Profiter du renouvellement pour réduire les impacts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégrer les dernières pales à haute visibilité certifiées</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Réaliser une analyse coûts-bénéfices faune avant toute décision de remplacement</li> <li>Prioriser le démantèlement des turbines à risque élevé identifié par un suivi à long terme</li> </ul>	 

Adaptation des infrastructures et visibilité	Rendre les turbines plus détectables et moins attractives	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peindre une seule pale en noir pour améliorer la perception en rotation</li> <li>• Poser des motifs zébrés au pied des mâts pour contraster avec l'horizon marin</li> <li>• Substituer l'éclairage fixe par des feux synchronisés clignotants à intensité réduite homologués aviation</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapter la gestion de l'éclairage nocturne, dans le respect des contraintes de sécurité maritime et aérienne, pour limiter l'attraction lumineuse</li> </ul>	 
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tester des revêtements mats limitant la réflexion ultraviolette attractive pour les insectes</li> </ul>	 
Mesures compensatoires écologiques	Compenser les impacts résiduels lorsque l'évitement n'est pas possible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planifier précisément toute mesure compensatoire : définir objectifs, indicateurs et calendrier avant le déploiement.</li> <li>• Adapter chaque action aux espèces et habitats concernés pour maximiser la pertinence écologique.</li> <li>• Réaliser un suivi rigoureux et de long terme pour quantifier, à l'aide de métriques précises, les pertes et les gains, et vérifier l'efficacité réelle des compensations.</li> <li>• Assurer une coordination interrégionale pour créer des synergies entre les différentes zones de compensation.</li> </ul>	 
Arrêt adaptatif des turbines	Mettre en œuvre un arrêt dynamique fondé sur la détection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliquer un algorithme prédictif (vent, température, pression) pour anticiper les nuits à risque pour les chauves-souris</li> <li>• Relever la vitesse seuil de démarrage des turbines à environ 5 m/s durant les migrations de chauves-souris, modulée par la température nocturne</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupler radars à balayage, capteurs acoustiques et caméras thermiques pour identifier la faune en approche</li> <li>• Programmer un arrêt saisonnier nocturne lors des pics migratoires de printemps et d'automne</li> <li>• Optimiser en continu les paramètres de bridage à partir des nouvelles données de suivi et des retours d'expérience</li> <li>• Mettre en place un protocole international de bridage standardisé, révisé régulièrement et adaptable aux contextes régionaux</li> </ul>	 
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixer une vitesse de coupure accrue les nuits chaudes et humides favorables aux insectes</li> </ul>	 

Suivi environnemental et validation des modèles (risque de collision, distribution/habitat)	Assurer un suivi continu et améliorer les modèles de risque	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installer un système radar tridimensionnel couvrant la colonne d'air jusqu'à 1 000 m</li> <li>• Combiner observations depuis bateaux, survols aériens et radars pour obtenir une couverture multiscalaire des déplacements aviaires</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en place des capteurs acoustiques passifs sur les mâts pour mesurer l'activité des chauves-souris</li> <li>• Installer des capteurs sur les phares et autres infrastructures marines pour suivre les chauves-souris migratrices</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre à jour les modèles de risque régulièrement</li> <li>• Publier les données brutes sur une plateforme ouverte sous licence libre</li> <li>• Mettre en œuvre des protocoles robustes de type Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>) pour évaluer scientifiquement l'efficacité des mesures</li> </ul>	 
Partage des données et gouvernance	Mettre en place une coopération régionale structurée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer un protocole commun de métadonnées validé par les autorités</li> <li>• Signer une convention interentreprises pour l'échange d'expériences et de dispositifs pilotes</li> <li>• Organiser des ateliers réguliers exploitants-chercheurs afin d'actualiser collectivement les connaissances sur les mesures d'atténuation et de partager les retours d'expérience</li> <li>• Maintenir une base de données régionale avec tableau de bord de mortalité et d'arrêts</li> <li>• Créer un portail unique et interopérable pour centraliser les données environnementales des projets éoliens, piloté par un organisme tiers</li> <li>• Mettre en place un consortium scientifique interinstitutionnel afin de coordonner la recherche et d'harmoniser les protocoles</li> <li>• Autoriser et accompagner des démarches expérimentales (éclairage dynamique, bridage innovant)</li> </ul>	 
	Mettre en place des incitations en faveur de la biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réintégrer une pondération environnementale dans les appels d'offres pour encourager l'innovation en faveur de la biodiversité</li> </ul>	 

La communauté scientifique qui travaille sur les impacts de l'éolien marin sur la biodiversité volante peut apporter un appui au développement ou à l'amélioration de technologies de réduction des risques. Les recommandations ci-après permettent d'améliorer la connaissance et donc l'efficacité des mesures mises en place.






Recommandations		Actions de recherches spécifiques à mener	Animaux impactés
Conception des protocoles de recherche	Définir des méthodes robustes pour anticiper les impacts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standardiser les protocoles multi-capteurs (visuel – aérien – radar) pour produire une ligne de base comparable entre projets</li> <li>Appliquer systématiquement des schémas Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>) adaptés au contexte marin</li> </ul>	 
Pilotage des connaissances pré-implantation	Cibler les lacunes de connaissance prioritaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cartographier les zones où les connaissances écologiques sont les plus lacunaires</li> <li>Mettre à jour une feuille de route des questions de recherche prioritaires, partagée avec la filière</li> <li>Mener des expérimentations Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>) sur plusieurs sites pour quantifier les impacts cumulatifs et tester les hypothèses clés</li> </ul>	 
Retour d'expérience et prospective	Capitaliser sur les démantèlements et renouvellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre les changements d'usage de l'espace par la faune après démontage</li> <li>Mesurer les effets des nouveaux designs haute visibilité installés lors du renouvellement</li> <li>Conduire des méta-analyses sur plusieurs parcs démantelés ou repowerés afin d'identifier les tendances à long terme des impacts et des bénéfices éventuels pour la biodiversité.</li> </ul>	 
Validation des mesures d'atténuation	Tester et quantifier l'efficacité des dispositifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concevoir des protocoles expérimentaux Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>) robustes pour tester bridage, dissuasion lumineuse/sonore, augmentation d'airgap, etc.</li> <li>Publier dans une base internationale les résultats bruts, méthodes et coûts pour permettre des méta-analyses d'efficacité</li> <li>Développer des métriques normalisées (taux de collision/MWh, effort énergétique) pour comparer les dispositifs</li> </ul>	 

Analyses et modélisation	Affiner les modèles de risque et de déplacement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégrer les conditions micrométéo et la densité d'insectes dans les modèles d'activité chauves-souris</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Recalibrer en continu les modèles de risque de collision en couplant les nouvelles données télémétriques multi-espèces</li> <li>Actualiser annuellement cartes de sensibilité et analyses cumulatives à l'échelle régionale pour guider l'adaptation des mesures</li> <li>Publier chaque mise à jour de modèle avec son code source et les jeux de données associés</li> <li>Créer un portail unique interopérable piloté par un organisme tiers pour centraliser les données environnementales</li> </ul>	 
Collecte de données etsuivi	Harmoniser et optimiser le suivi faunistique en mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Co-élaborer un protocole international harmonisé (visuel, acoustique, radar 3D, télémétrie) avec inter-calibration obligatoire des méthodes.</li> <li>Équiper les parcs de dispositifs de détection de dernière génération (radars vertical/scanning, LIDARS, caméras IA) couplés à un monitoring environnemental temps réel</li> <li>Synchroniser les fenêtres de collecte des données entre projets d'une même façade maritime</li> </ul>	 



L'État, et plus globalement la puissance publique, doivent s'assurer que les opérateurs et les développeurs respectent leurs obligations en matière de biodiversité, afin de protéger les espèces et les écosystèmes dont dépend notre qualité de vie. Les recommandations suivantes concourent à cet objectif.

Recommandations		Actions spécifiques	Animaux impactés
Critères de sélection des projets	Réintroduire une pondération environnementale dans les appels d'offres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir un pourcentage minimal de points attribué aux engagements biodiversité</li> <li>• Publier un barème national de bonus pour les mesures d'atténuation ambitieuses (<i>airgap</i>, bridage, suivi Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>))</li> </ul>	 
Cadre national de planification	Piloter la planification spatiale à l'échelle de l'État pour éviter les zones sensibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élaborer une cartographie nationale des couloirs migratoires et l'intégrer aux appels d'offres</li> <li>• Publier des zones d'exclusion ou de vigilance avant toute mise en concurrence</li> <li>• Mettre à jour les données écologiques régulièrement et les rendre accessibles aux candidats</li> </ul>	 
Souplesse réglementaire expérimentale	Faciliter les tests de solutions innovantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en place des autorisations temporaires pour l'éclairage dynamique ou le bridage adaptatif</li> </ul>	
Suivi et contrôle	Renforcer les moyens des services instructeurs pour contrôler la mise en œuvre des mesures	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recruter et former des agents spécialisés en écologie marine</li> </ul>	 
Normalisation des protocoles	Harmoniser les méthodes de suivi imposées aux porteurs de projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Publier des guides méthodologiques nationaux (radar, acoustique, collecte de données)</li> <li>• Imposer des protocoles et procédures standardisés à l'échelle nationale (voire internationale), et dans l'idéal des schémas de types Avant-Après-Contrôle-Impact (BACI : <i>Before-After-Control-Impact</i>) pour évaluer l'efficacité des mesures</li> </ul>	 

Gouvernance des données	Centraliser et ouvrir les données environnementales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exiger le dépôt des jeux de données brutes dans un format standard</li> <li>• Créer un portail unique interopérable piloté par un organisme public pour l'accès libre aux données</li> </ul>	 
Coordination recherche-État-industrie	Structurer la recherche appliquée via un consortium national	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financer un programme pluriannuel dédié à l'efficacité des mesures d'atténuation</li> <li>• Lancer un consortium inter-institutionnel chargé d'identifier d'abord les questions de recherche prioritaires, puis d'élaborer pour chacune un protocole de suivi harmonisé et de mutualiser les résultats obtenus</li> </ul>	 
Coordination et gouvernance scientifique	Renforcer la structuration de la recherche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérenniser et soutenir l'Observatoire de l'Éolien en Mer en tant que consortium scientifique interinstitutionnel pour coordonner projets, financements et capitalisation des connaissances</li> <li>• Plaider pour une pondération environnementale réintroduite dans les appels d'offres afin de financer la recherche appliquée</li> <li>• Mettre en place un fonds de soutien aux publications en accès libre issues des projets éoliens</li> <li>• Pérenniser et soutenir la conférence annuelle <i>Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts</i> (CWW) regroupant académiques, institutions et industriels pour aligner protocoles et priorités</li> </ul>	 
Soutien à l'innovation environnementale	Inciter financièrement les mesures ambitieuses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser des subventions et des incitations fiscales pour stimuler la recherche et le développement de technologies d'atténuation.</li> </ul>	 





Face au changement climatique, l'éolien en mer représente un levier majeur pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. Néanmoins, le développement de cette filière repose sur des infrastructures pouvant avoir des effets néfastes sur la biodiversité. Ce livret met en lumière les recommandations des scientifiques relatives aux mesures visant à réduire ces impacts, à destination de la communauté scientifique, des développeurs et opérateurs de parcs éoliens marins, et des États.

Aucune mesure isolée ne peut répondre à l'ensemble des problématiques liées aux impacts des sites éoliens marins sur les espèces volantes. Dès la phase de planification, une approche **Éviter-Réduire-Compenser** (ERC) est indispensable. Le recours à un bridage intelligent, à des technologies de détection acoustique ou visuelle, ainsi qu'à des dispositifs de dissuasion dès la conception des projets, permettrait aussi de renforcer leur protection. Par ailleurs, il est primordial de développer des **outils standardisés d'évaluation des impacts**, intégrant des critères précis tels que les analyses cumulatives des effets et la résilience des espèces.

Enfin, la collaboration étroite entre chercheurs, développeurs et décideurs publics est indispensable pour assurer un **développement harmonieux et écologiquement responsable de l'éolien marin**.

Cette publication a été réalisée dans le cadre du programme « **Impact des énergies renouvelables sur la biodiversité** ». Ce programme de financement de projets de recherche porté par la **Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB)** et le **Mirova Research Center** vise à mieux évaluer l'impact des énergies renouvelables sur la biodiversité et à produire des recommandations opérationnelles sur de meilleures pratiques à destination des acteurs de la filière.

Consulter la synthèse complète :



**Référence :** Quinard A. and Langridge J. (2025) Limiter l'impact de l'énergie éolienne marine sur la faune volante: synthèse des recommandations en l'absence d'évaluations d'efficacité. Synthèse de connaissances.  
Paris, France : Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité

**Auteur :** Robin Almansa (FRB)

**Relectures :** Hélène Soubelet (FRB), Pauline Coulomb (FRB), Claire Salomon (FRB), Aurélie Quinard (FRB), Marjolaine Garnier (FRB)

**Mise en page :** Fanny Lavastrou (FRB)

**Crédit photo :** Nicholas Doherty, Low Angle et Anthony Aird via Unsplash

Avec le soutien de

