

L'éolien terrestre

La PPE va augmenter la puissance éolienne installée et dans une moindre mesure leur nombre. Cette augmentation ne sera toutefois pas proportionnelle, les éoliennes étant de plus en plus puissantes.

Climat et énergie, Risques naturels et technologiques					
	Effets notables probables		Type d'effet	Durée	Horizon
Impact PPE		Positif limité	Indirect	Permanent	Moyen terme

La production d'électricité des éoliennes terrestres ne s'appuie pas sur un combustible fossile. Elle participe de la réduction des émissions de GES dans la mesure où elle permet de réduire le recours aux énergies fossiles et dispose d'un niveau d'émissions de CO₂ particulièrement faible.

Enfin, Les éoliennes ne comportent aucun risque, et quand elles se substituent à une production d'électricité thermique ou nucléaire, elles réduisent les risques technologiques par la baisse de ces productions.

Biodiversité et habitats naturels, Santé humaine et pollutions, Patrimoine architectural, culturel et archéologique					
	Effets notables probables		Type d'effet	Durée	Horizon
Impact PPE		Neutre			

La réduction des émissions de GES due au remplacement de la combustion fossile par les éoliennes limite le réchauffement climatique, qui est une des principales causes de perte de biodiversité. Cependant, un parc d'éoliennes peut avoir des incidences sur la biodiversité sur lesquelles le développeur de projet doit être vigilant : perturbation de l'avifaune et des chiroptères (oiseaux et chauves-souris), destruction ponctuelle de végétation sur le site d'implantation, dérangement de la faune, etc. Outre le risque de collision avec les espèces volantes qui est relativement faible comparé à d'autres installations du même ordre de grandeur¹⁰⁵, il s'agira d'être attentif à l'effet « barrière » lié à la massification du déploiement éolien. L'effet cumulé des parcs éolien peut perturber les trajets de migration de certaines espèces qui réalisent des détours pour les éviter. Il est important de noter que l'emplacement des éoliennes est conditionné à une autorisation environnementale obligeant le développeur, en cas de présence d'espèces protégées dans la zone du projet, de demander une dérogation espèces protégées et d'appliquer la séquence ERC « Eviter, Réduire, Compenser » en

¹⁰⁵ La mortalité réelle moyenne due aux éoliennes s'établit autour de 7 oiseaux par éolienne par an, soit bien en-deçà des 80 à 120 oiseaux tués par an par kilomètre de ligne haute tension (LPO, 2017) https://eolienbiodiversite.com/IMG/pdf/eolien_lpo_2017.pdf

présence d'espèces protégées. De plus, des systèmes de bridage arrêtant les éoliennes sur certaines plages horaires et conditions climatiques pour préserver la biodiversité sont imposées dans l'autorisation environnementale, tout comme la mise en place de système de détection - réaction (SDA) des oiseaux approchants permettant l'arrêt temporaire des pales pour éviter toute collision.

Il est à noter que ces incidences sur la biodiversité dépendront fortement de la localisation géographique des éoliennes. Elles font l'objet d'une anticipation et d'une gestion spécifique dans le cadre des procédures d'autorisation administratives s'appliquant à chaque projet. Tout projet de parc est ainsi soumis à un examen approfondi de l'intégration des éoliennes dans leur environnement, de la bonne prise en compte des risques associés à leur exploitation et fait l'objet d'une étude d'impact. Les projets prennent en compte les zonages prévus par certains plans de protection de l'environnement :

- La prise en compte des Orientations Nationales pour la Préservation et la Restauration des Continuités Ecologiques (ONPRCE) implique d'éviter d'implanter des sites éoliens sur les voies de circulation journalière ou de migration des oiseaux ;
- La prise en compte des zones Natura 2000 permet de réduire l'impact des champs éoliens sur des espèces protégées.

Enfin, l'arrêté d'autorisation peut présenter des prescriptions visant à réduire les impacts identifiés, voire à mettre en place des compensations. Parmi ces prescriptions peuvent notamment figurer :

- L'incitation à implanter des éoliennes dans les zones d'agriculture intensive. Cette mesure a notamment pour avantage de réduire le nombre de collisions ainsi que de minimiser l'emprise au sol des parcs éoliens qui n'excluent pas d'autres usages du territoire ;
- L'encouragement du « repowering » qui permet de limiter l'impact lié à la mise en place de nouvelles installations en les situant sur des sites déjà exploités et ne présentant pas de problèmes relatifs à l'avifaune. Inversement, il est préférable de déplacer les anciens parcs situés sur des sites sensibles.

La PPE prévoit notamment d'organiser un plan de « repowering » pour préparer un renouvellement efficace des parcs renouvelables existants sur la période 2025-2035 en étudiant la possibilité d'augmenter la taille des mâts pour rehausser la production tout en limitant le nombre de mâts. Ceci permettra de réduire l'impact des nouvelles capacités sur l'usage des sols et sur la biodiversité.

Du fait de leur hauteur et du mouvement des pales, les éoliennes sont susceptibles de causer des nuisances pour les riverains : bruit, ondes électromagnétiques, projection d'ombre, effet stroboscopique, etc. A ce stade, les études montrent que l'incidence de ces effets est négligeable à plus de 500 mètres, qui est la distance minimale à respecter entre une éolienne et les habitations, fixée par la réglementation française¹⁰⁶. Au-delà des enjeux objectivés, la perception de cette incidence par les riverains constitue un enjeu important pour la faisabilité des projets. L'association des populations en amont des projets est de nature à faciliter l'acceptation.

En raison du mouvement rapide de pièces métalliques dans le fonctionnement des éoliennes, ces dernières sont à l'origine de perturbations électromagnétiques de nature à gêner les signaux radars. De même les mâts qui ne sont pas en mouvement jouent un rôle dans les perturbations radars. Ces perturbations peuvent affecter les radars météorologiques ainsi que les radars de l'aviation civile et de la Défense. Ces nuisances risquent de s'amplifier avec l'augmentation de la taille des installations. Il est donc important d'en tenir compte lors du montage du projet. L'ensemble de ces nuisances est pris en compte dans le cadre de la réglementation ICPE applicable aux éoliennes depuis 2011.

¹⁰⁶ La réglementation française se classe parmi les plus protectrices en soumettant les éoliennes à la législation des ICPE (décret n°2011-984 du 23 août 2011 adopté suite à la Loi Grenelle 2)

D'autre part, les éoliennes modifient le paysage dans lequel elles s'insèrent, par leur hauteur, leur envergure, leur positionnement et leur nombre. Il est donc nécessaire de penser l'implantation d'un parc de manière contextualisée dans ce paysage local en tenant compte des perceptions par les populations, et des autres parcs existants ou en projets. Afin de favoriser l'intégration des installations éoliennes sur le

territoire, il est recommandé d'associer les populations dans le processus de sélection des sites d'implantation.

A long terme, le développement de l'énergie éolienne présente des risques de saturation du territoire. Une fois que les sites les plus propices au développement de l'énergie éolienne auront été exploités, les développeurs de nouveaux projets pourraient se tourner vers des sites moins consensuels. Il est important que la filière se construise sans oublier cet aspect.

Sols et sous-sols, Ressources épuisables hors énergie fossile et déchets					
	Effets notables probables		Type d'effet	Durée	Horizon
Impact PPE		Négatif limité	Direct	Permanent	Long terme

La surface artificialisée par un parc éolien est limitée : RTE l'estime à 0,15 ha/MW. Pour autant, la présence d'éoliennes limite de manière significative les usages alentours. Seule l'activité agricole est possible sans contrainte dans le voisinage direct d'éoliennes. Une éolienne ne peut par contre pas être placée à moins de 500 m d'une habitation, ce qui exclut tout co-usage résidentiel, ni à moins de 300 m d'une ICPE ou d'une centrale nucléaire. Une distance minimale est également requise vis-à-vis des voies de transport et des lignes électriques aériennes. Enfin, l'installation d'un parc éolien est impossible dans un rayon de plusieurs kilomètres autour d'une zone d'activités radars, militaires, aéronautiques ou météorologiques.

La surface imperméabilisée, correspondant essentiellement au poste électrique et au socle en béton de l'éolienne, est estimée par RTE à 0,02 ha/MW. La législation prévoit depuis la loi du 3 janvier 2003, relative aux marchés du gaz et de l'électricité et au service public de l'énergie, que l'exploitant d'une éolienne est responsable de son démantèlement et de la remise en état du site à la fin de l'exploitation.

La PPE prévoit notamment d'organiser un plan de « repowering » pour préparer un renouvellement efficace des parcs renouvelables existants sur la période 2025-2035 en étudiant la possibilité d'augmenter la taille des mâts pour rehausser la production tout en limitant le nombre de mâts. Ceci permettra de réduire l'impact des nouvelles capacités sur l'usage des sols et sur la biodiversité.

S'agissant des ressources, le développement de la filière de l'éolien terrestre au rythme prévu dans la PPE implique une empreinte matière accrue. Cette empreinte matière porte majoritairement sur l'usage de béton et d'acier, mais également de manière non-négligeable sur l'usage de cuivre et d'aluminium, deux métaux identifiés comme stratégiques par l'Union européenne. Certaines technologies d'éoliennes terrestres basées sur des aimants permanents nécessitent également l'usage de terres rares. Cependant, selon l'ADEME, seuls 6 % des éoliennes en France étaient basées sur cette technologie en 2019, et celle-ci tend à disparaître.¹⁰⁷ Selon RTE¹⁰⁸, les besoins matières moyens de l'éolien terrestre, exprimés en t/MW, se décomposeraient ainsi à l'horizon 2035 :

¹⁰⁷ ADEME (2024). Terres rares, énergies renouvelables et stockage d'énergies. <https://bibliothèque.ademe.fr/energiesrenouvelables-reseaux-et-stockage/492-terres-rares-energies-renouvelables-et-stockage-d-energies.html>

¹⁰⁸ RTE (2021). Futurs énergétiques 2050. <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel2050-futurs-energetiques>

Éolien terrestre	Aluminium	Cuivre	Acier	Béton	Graphite	Silicium
Besoin matière (t/MW)	0,69	2,6	200	450	0,001	0,009

Le développement de l'éolien terrestre au rythme prévu dans la PPE contribuera donc de manière non-négligeable à l'augmentation de la demande mondiale de cuivre et d'aluminium, deux métaux dont la disponibilité pourrait connaître des tensions d'ici 2050 (voir paragraphes dédiés dans la partie 5.2.2 ci-après).

Il est donc nécessaire d'anticiper dès à présent le recyclage des éléments composant les éoliennes afin de permettre la réutilisation de ces ressources :

- Les pales sont constituées de fibres de carbone et de verre qui sont pour l'instant difficilement recyclables. Les solutions actuelles consistent à les valoriser sous forme de chaleur ou les broyer pour produire du ciment. Toutefois, des expérimentations et des programmes de recherches sont en cours pour réaliser des pales entièrement recyclables ;
- En fin de vie, les fondations en béton armé ne sont arasées que sur une hauteur de 1 m ce qui implique que le reste de la structure est laissée dans le sol (soit environ 3-4 m de béton armé). Il serait intéressant de soutenir les travaux visant à réutiliser les fondations lors du « repowering » d'un parc. Cela permettrait non seulement de réduire le coût d'installation mais également de ne pas multiplier l'emprise au sol liée à l'abandon de masses de béton à un mètre de profondeur.

Mesures ERC

Les éoliennes sont des installations encadrées par la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) du Code de l'environnement, cela signifie que les pressions sur l'environnement qu'elles génèrent sont surveillées pour qu'elles respectent des seuils socialement acceptables du point de vue de leur impact.

Eviter

- Localiser les projets en évitant les zones géographiques à enjeux. Pour les chiroptères de haut-vol ou de lisières qui sont les plus impactés par les projets éoliens, il convient d'éviter le littoral, les vallées alluviales, les sites où les parcs éoliens survolent des éléments arborés (bocages, boisements) ou des milieux aquatiques et humides. Pour les oiseaux, les sites survolés par des couloirs de migration, les sites de halte migratoire, de repos, d'hivernage, de transit (corridors locaux), les zones humides, les milieux bocagers et forestier sont à éviter.

Réduire

- Limiter les impacts sur l'avifaune en maintenant des couloirs de migration prenant en compte l'effet cumulé des différents parcs¹⁰⁹. Limiter la mortalité de la faune par la prise en compte des zonages Natura 2000¹¹⁰ et en installant des dispositifs anticollisions¹¹¹ ;
- Développer les usages annexes des sites d'implantation des éoliennes. Certaines activités peuvent être compatibles avec l'implantation d'un parc éolien, il conviendra d'approfondir les études portant sur ces interactions entre éoliennes et écosystèmes. Si la possibilité d'implanter des éoliennes en milieu agricole est déjà connue, il est envisageable que

109 R. 2.2f – Dispositif de passage faune

110 E1.1a - Évitement des populations connues d'espèces protégées ou à fort enjeu et/ou de leurs habitats

111 R. 2.2d - Dispositif anti-collision et d'effarouchement (hors clôture spécifique)

d'autres solutions innovantes puissent exister et être développées afin de réduire l'emprise au sol associée au déploiement d'un parc éolien¹¹² ;

- Réduire les nuisances visuelles liées à la signalisation nocturne des parcs¹¹³. L'usage de lampe à sodium pour l'éclairage des installations permettrait d'éviter d'attirer les insectes limitants ainsi également le risque de collision avec les chiroptères¹¹⁴. Un groupe de travail interministériel est en cours pour étudier également la solution du balisage circonstancié en fonction des passages des avions de l'aviation civile ou militaires ;
- Réduire les nuisances auditives liées au fonctionnement des éoliennes en privilégiant des modèles à puissance acoustique faible¹¹⁵, et en respectant la réglementation en matière d'éloignement des zones d'habitation. De plus, la réglementation ICPE impose une émergence de décibels à ne pas dépasser ;
- Encourager le « repowering » (remplacement des installations éoliennes existantes par des installations de puissance supérieure). Renouveler les installations sur un même site permet d'éviter l'émergence de nouveaux impacts sur l'environnement et de mieux anticiper ceux liés à la localisation du projet d'après le retour d'expérience. Les efforts visant à permettre la réutilisation des fondations des installations antérieures doivent être poursuivis afin de réduire l'impact au sol lié à l'implantation de nouvelles éoliennes ;
- Développer le recyclage des matières ayant été utilisées dans l'installation de production, en fin de vie.

Compenser

- En cas d'implantation sur un site préalablement exploité, il est possible de prévoir l'enlèvement des fondations n'ayant pas été arasées lors du démantèlement des installations précédentes¹¹⁶.