

## 11 Annexe 11. Effets connus de l'énergie éolienne terrestre sur la biodiversité

Le chapitre suivant est extrait du rapport de l'ADEME en partenariat avec Deloitte et Biotope « Etat de l'art des impacts des énergies renouvelables sur la biodiversité, les sols et les paysages, et des moyens d'évaluation des impacts » (ADEME, Chloé Devauze, Mariane Planchon, Florian Lecorps, Maxime Calais, Mathilde Borie. 2019. *Etat de l'art des impacts des énergies renouvelables sur la biodiversité, les sols et les paysages, et des moyens d'évaluation des impacts - Rapport d'analyse et de comparaison des impacts des énergies renouvelables sur la biodiversité, les sols et les paysages - directs et indirects sur l'ensemble de leur cycle de vie. 201 pages*).

Les impacts environnementaux des installations de production d'énergie éolienne terrestre font l'objet d'une attention très importante de la communauté scientifique internationale depuis plus de 20 ans, impliquant une volumétrie de publications, articles, livres, actes de conférence extrêmement importante. Dans le cadre de la recherche bibliographique menée pour la présente mission, plus de 660 documents traitant des liens entre biodiversité et énergie éolienne terrestre ont été compilés. Parmi ces documents, plus d'une centaine de publications a été analysée en détail.

Il est cependant important de noter qu'en intégrant l'ensemble des actes de colloque, d'articles scientifiques, thèses, rapports de master, études d'impact et études de suivis de parcs éoliens terrestres en exploitation, plusieurs dizaines de milliers de documents pourraient aisément être rassemblés en Europe et dans le monde (Rydell, et al., 2017).

Ce constat a conduit à retenir une approche privilégiant la prise en considération de revues bibliographiques internationales et publications de référence. Aussi, dans le cadre de la présente étude, aucun rapport de suivi de parc en exploitation n'a été pris en considération, ni aucune étude d'impact. De tels documents peuvent avoir des intérêts dans la qualification et la quantification des impacts ; cependant, au regard de l'objet de cette étude une approche ciblant des publications de synthèse a été privilégiée. Il s'agit d'une limite méthodologique à prendre en considération à la lecture du document.

Parmi les démarches les plus importantes ayant trait aux liens entre énergie éolienne terrestre et biodiversité, peuvent être citées, de façon non exhaustive :

La conférence internationale CWW (Conference on Wind energy and Wildlife impacts) ayant lieu tous les 2 ans, et dont la quatrième édition s'est tenue au Portugal en septembre 2017 et la cinquième édition est prévue fin août 2019 en Ecosse ;

La plateforme collaborative WREN (Working Together to Resolve Environmental Effects of Wind Energy) créée par l'agence internationale de l'énergie (IEA Wind) en octobre 2012 et portée par les Etats-Unis (Pacific Northwest National Laboratory, National Renewable Energy Lab et le département américain de l'énergie Wind Energy Technologies Office). Cette plateforme vise à faciliter les collaborations internationales et l'amélioration de la compréhension des effets environnementaux de l'énergie éolienne (Sinclair, et al., 2018; Copping, et al., 2017). La France est l'un des 12 pays membres de WREN ;

La base de données mondiale Tethys, sur les effets environnementaux des énergies marines et de l'éolien qui a été mise en place dans le cadre de ces travaux collaboratifs supportés par l'Agence internationale de l'énergie et le US department of Energy (WREN et OES). Cette base de données spécifique, mais non exhaustive, ayant trait aux effets environnementaux (principalement biodiversité) des énergies marines renouvelables et de l'énergie éolienne, rassemble fin juin 2018 plus de 4 000 documents, dont plus de 2 000 pour l'énergie éolienne (terrestre et en mer) ;

Les conférences, forums et webinaires réalisés par l'institut américain AWWI (American wind wildlife institute) et le forum américain NWCC (National Wind Coordinating Collaborative) ;

Le programme Eolien et biodiversité, coordonné par la LPO France et bénéficiant d'un appui financier de l'ADEME, qui met en place depuis plus de 10 ans diverses actions en France : des séminaires d'échanges et retours d'expériences, différentes actions de R&D, une compilation de ressources bibliographiques.

Les principaux effets sur la biodiversité documentés des installations de production d'énergie éolienne terrestre sont présentés dans les sections suivantes. Les références citées ne visent pas l'exhaustivité, mais une représentativité des connaissances et travaux en cours. Les références utilisées ont été retenues en fonction de leur pertinence vis-à-vis

de l'objet de l'axe 1 : dresser un état de l'art des impacts environnementaux de l'énergie éolienne terrestre sur la biodiversité.

De très nombreuses publications et documents de référence ont été produits ces dernières années, principalement en Europe et en Amérique du Nord (Rydell, et al., 2017; Perrow, 2017a; Perrow, 2017b; Hötter, et al., 2017; Schuster, et al., 2015; Lindeboom, et al., 2015; May, et al., 2017; Gove, et al., 2013; Smallwood, et al., 2017), mais également ailleurs dans le monde. Deux ouvrages de référence, fournissant un bilan exhaustif des effets potentiels de l'éolien terrestre sur la biodiversité ainsi qu'une synthèse complète des mesures de réduction d'impacts et de suivi, ont été réalisés en 2017 sous la coordination de Martin Perrow (Perrow, 2017a; Perrow, 2017b). Il s'agit, à ce jour, de la compilation bibliographique la plus large sur le sujet.

L'analyse exhaustive des papiers traitant des liens entre éolien terrestre et biodiversité est inenvisageable en raison de la volumétrie disponible et du dynamisme en termes de publications scientifiques (plusieurs dizaines à centaines chaque année). Aussi, de nombreuses références complémentaires auraient méritées d'être ici citées, mais n'ont pas pu être traitées dans le détail dans le cadre de la présente mission.

Les recherches et analyses bibliographiques réalisées dans le cadre de la présente étude révèlent une attention principalement portée aux phases de construction et d'exploitation des parcs éoliens terrestres. Les effets environnementaux des travaux de démantèlement sont souvent comparés à ceux des travaux de construction (impacts sur les substrats et milieux, présence d'engins, bruits, etc.) ; ils sont souvent peu détaillés dans les publications de référence.

Tout aménagement d'un parc éolien terrestre nécessite des travaux de construction, qui peuvent engendrer des impacts par destruction ou altération des habitats au niveau des zones de travaux, avec des impacts possibles sur des individus de flore et de faune.

En plus de ces impacts classiques pour tout aménagement, les parcs éoliens terrestres peuvent engendrer des impacts plus spécifiques qui relèvent de :

Mortalité (collision et barotraumatisme) en phase de fonctionnement, qui concerne la faune volante (oiseaux et chiroptères) ;

Perturbation de certaines espèces d'oiseaux ou de chiroptères en vol (« effet barrière », phénomènes d'attraction ou perturbations des activités de chasse et de déplacement) ;

Perturbation des activités de certaines d'espèces d'oiseaux au sol par effet « déplacement », pouvant entraîner une perte d'habitats (de repos, d'alimentation et/ou de nidification).

Ainsi, lors des phases de construction, exploitation et démantèlement d'un parc éolien terrestre, les effets se placent dans quatre grandes catégories (Schuster, et al., 2015; Gove, et al., 2013) : mortalité par collision, perturbation de la faune volante (effet barrière), perturbation des activités au sol (effet déplacement) et perte d'habitats (par destruction de milieux). Certains auteurs regroupent les impacts concernant les déplacements d'activité au sol et les pertes d'habitats en une même catégorie. Malgré le nombre très important de documents ayant trait aux liens entre biodiversité et éolien terrestre, très peu d'analyses concernent les phases préalables à la construction (fabrication des composants) et postérieure au démantèlement (fin de vie). Ces phases sont généralement abordées dans des publications traitant d'analyses de cycles de vie, principalement via les aspects de consommation de matériaux (pour la construction des équipements), de consommations énergétiques, d'émissions de gaz (notamment émission de CO<sub>2</sub>) et de pollutions (acidification, écotoxicité) (Ghenai, 2012; Haapala, et al., 2014; Razdan, et al., 2015; Smoucha, et al., 2016; Chipindula, et al., 2018). Ces publications ne ciblent pas les milieux naturels, la faune et la flore, y compris certaines études très récentes concernant les éoliennes terrestres (Chipindula, et al., 2018). Des éléments complémentaires, notamment sur le potentiel d'acidification, sont disponibles en section 4.2 relative aux impacts sur les sols.

Il est important de noter que, malgré la relative maturité du développement des installations éoliennes terrestres, la communauté scientifique continue à travers le monde à affiner la compréhension des mécanismes influençant les impacts de ce type d'EnR sur la biodiversité. De nombreux auteurs insistent sur les spécificités des sites de développement, des espèces voire des individus, identifient les axes de compréhension et recherche complémentaires et prônent une approche basée sur la gestion adaptative des parcs éoliens terrestres (Köppel, et al., 2014; Schuster, et al., 2015; May, et al., 2017; Sinclair, et al., 2018; Gartman, et al., 2016).

L'intégration en amont, le plus tôt possible dans les étapes de planification et pré-construction, des enjeux environnementaux constitue un pilier des recommandations de la communauté scientifique (Schuster, et al., 2015; Gartman, et al., 2016; May, et al., 2017; Perrow, 2017a; Perrow, 2017b). Cela se traduit par de nombreux travaux s'attachant à la spatialisation des enjeux environnementaux (biodiversité, en l'occurrence) et de vulnérabilité biologique prévisible (Gartman, et al., 2016; Hanssen, et al., 2018; Bright, et al., 2008; Noguera, et al., 2010; Liechti, et al., 2013; Miller, et al., 2014; Vasilakis, et al., 2016; Gove, et al., 2016).

Par ailleurs, pour le développement de l'énergie éolienne terrestre plus que pour tout autre type d'EnR, la prise en compte des effets cumulés à l'échelle de vastes territoires est présentée par plusieurs auteurs comme une échelle d'analyse à privilégier (Roscioni, et al., 2013; May, et al., 2017; Sinclair, et al., 2018). Des éléments complémentaires sont fournis en section 4.3 relative aux impacts sur les paysages. Pour rappel, comme tout projet d'aménagement, les projets de parcs éoliens terrestres sont soumis à autorisation préalable. En France, les projets concernés par le champ de cette étude sont systématiquement soumis à la réalisation d'une étude d'impact conformément aux dispositions du Code de l'environnement. Les moyens mis en œuvre pour la prise en compte de la biodiversité dans le cadre du développement de projets éoliens en France sont importants, comparativement à d'autres types d'aménagement. La séquence « éviter, réduire, compenser » est généralement particulièrement développée dans les dossiers relatifs à ces aménagements.

### 11.1 Destruction / altération des habitats, modifications des milieux

Comme toute infrastructure, la construction d'un parc éolien terrestre nécessite des travaux de terrassement, nivellement et de voirie : construction des fondations, des plateformes, élargissement ou création d'accès, réseaux électriques enterrés, poste électrique, zones de stockage. Dans certains types de milieux humides, des effets de drainage sont également possibles (voir le cas de développement de projets en Ecosse) (Wawrzyczek, et al., 2018) ; les parcs éoliens terrestres français ne sont néanmoins en pratique pas développés dans ce type de milieux. Les effets peuvent se maintenir pendant plusieurs années après construction, toute la durée d'exploitation voire au-delà, selon les aménagements.

Comme tous travaux d'aménagement, la construction des parcs éoliens terrestres peut engendrer des impacts directs sur la faune par perturbation, dérangement sonore, visuel ainsi que par destruction ou altération d'habitats (notamment défrichement, arrachage de haies, décapage de terre végétale, etc.).

Les travaux impliquant des coupes ou des arasements de végétations, ainsi que le terrassement de terre végétale peuvent engendrer des destructions directes d'animaux terrestres ou d'oiseaux nichant au sol, si les travaux sont réalisés en période de nidification. Les bruits et activités des engins de construction peuvent, de leur côté, engendrer des perturbations et gênes comportementales d'espèces d'oiseaux ou d'autre faune.

Les effets directs et indirects sur les végétations et habitats sont assez peu documentés dans la littérature analysée. Une synthèse spécifique sur ce sujet a été récemment réalisée (Silva, et al., 2017 cité dans Perrow (2017a)) et des études spécifiques sont menées à l'échelle mondiale (Xia, et al., 2017). Parmi les principaux effets documentés, la destruction directe de milieux d'espèces ou d'habitats importants sur le plan fonctionnel ressort, ainsi que la dégradation de milieux lors des travaux (accès, impacts indirects). Comme tous types de travaux de construction nécessitant des terrassements, l'introduction ou la dispersion d'espèces invasives est une problématique.

Comme toute activité avec des altérations ou destructions localisées de milieux, des impacts sur tous les groupes faunistiques sont possibles (invertébrés et vertébrés). Ces impacts possibles sont généralement bien appréhendés dans le cadre du développement des projets éoliens terrestres, via la minimisation des emprises, l'évitement de milieux de fort intérêt biologique ou fonctionnel, etc.

Les parcs éoliens terrestres présentent des capacités d'ajustement importantes (positionnement des éoliennes, emprises globalement faibles) qui, sauf en cas de fortes contraintes techniques ou topographiques permettent de limiter très fortement les impacts de construction. La majorité du parc éolien en France est développée sur des terres agricoles (environ 83 % des installations selon ADEME, I Care & Consult, Blézat consulting, CERFrance, Céréopa (2017)). Dans ces contextes, les besoins de construction de nouveaux accès sont limités (utilisation, au moins partielle, de chemins existants).

Les effets de construction d'un parc éolien terrestre sur la biodiversité sont très spécifiques aux sites de développement (caractéristiques des milieux concernés) et aux caractéristiques du parc éolien (nombre d'éoliennes, dimensions des plateformes, modalités d'accès, etc.). Ils ne sont pas généralisables à l'échelle de la filière. Ce type d'impacts est particulièrement analysé dans le cadre des études d'impact relatives à tout projet éolien terrestre.

## 11.2 Dérangement des individus et modification des activités

### 11.2.1 En phase travaux

En phase de construction, la présence des engins, les bruits de travaux peuvent engendrer des perturbations des activités d'individus d'espèces de faune présents. Il est généralement admis que les travaux de démantèlement présentent des caractéristiques similaires (bruits, présence d'engins, mouvements).

Bien que la majorité des études concernant les effets des parcs éoliens terrestres sur l'avifaune s'attache à la phase d'exploitation, plusieurs études ont ciblé plus spécifiquement les impacts en phase de construction (voir notamment (Schuster, et al., 2015; Pearce-Higgins, et al., 2012)).

Chez certaines espèces, des perturbations en période de nidification peuvent engendrer l'abandon du nid et l'échec de la reproduction. De nombreuses espèces semblent cependant peu dérangées par la construction de parcs éoliens terrestres, voire en tirent profit (Schuster, et al., 2015; Pearce-Higgins, et al., 2012; Devereux, et al., 2008). Une étude basée sur certains parcs au Royaume-Uni (Pearce-Higgins, et al., 2012) indique des diminutions d'activité par déplacement de certaines espèces lors de la phase de construction (Courlis cendré) mais également des augmentations de densité de certaines espèces de passereaux.

Cependant, les principales références bibliographiques traitant des effets de la construction des parcs éoliens terrestres sur les oiseaux ne mettent pas en avant d'effets génériques, transposables à toutes les espèces d'oiseaux ou à tous les parcs éoliens (Rydell, et al., 2017; Schuster, et al., 2015). Les impacts en phase travaux sont liés aux milieux, aux espèces présentes et à la nature des activités (parades, nidification, hivernage, alimentation, repos, etc.). En effet, certaines espèces d'oiseaux peuvent être nettement plus sensibles aux activités et travaux proches de leurs zones de repos ou d'alimentation (notamment parmi les familles des anatidés, des limicoles, des rapaces).

Les travaux de construction d'un parc éolien terrestre s'échelonnent souvent entre six mois et un an, parfois davantage pour de grands parcs éoliens. La qualification et la quantification des impacts en phase de construction est complexe à étudier : durée de suivi courte ne permettant pas de gommer les évolutions interannuelles, complexité pour isoler les autres facteurs d'influence.

Les effets de perturbations de la faune en phase travaux sont assez peu documentés dans la littérature pour les parcs éoliens terrestres. Les effets ne sont pas ici spécifiques à l'éolien, mais similaires à ceux induits par tout aménagement (présence d'engins de construction, bruits, etc.). Ces effets sont très spécifiques à chaque site de projet, aux caractéristiques des aménagements et à la sensibilité des espèces.

### 11.2.2 En phase d'exploitation (effets déplacement, effet barrière et bruit)

La perte ou l'altération d'habitats induites par la phase de construction peuvent perdurer et amener, à moyen terme, une perte d'habitat. Pour la grande majorité des parcs éoliens terrestres, ces pertes d'habitats sont de faible superficie (la qualité des milieux détruits doit cependant être considérée, au-delà de la simple notion de surface impactée).

En phase d'exploitation, ce sont principalement des réactions d'éloignement des abords des éoliennes par les oiseaux qui peuvent engendrer des pertes d'habitats.

Les phénomènes de déplacement peuvent présenter plusieurs niveaux d'intensité, mais se traduisent généralement par une réduction plus ou moins forte des activités à proximité des éoliennes (distances variables selon les espèces et les sites), pouvant être assimilé, dans les cas les plus marqués, à une perte d'habitats par phénomène d'aversion. Cela peut concerner les activités de stationnement, d'alimentation, de nidification ainsi que les activités de vol (« effet barrière »). L'évitement strict ou presque total des abords d'éoliennes est très rarement observé.

## 16 Annexes

Les effets de la présence des éoliennes terrestres sur la distribution, la densité et les activités des oiseaux ont été étudiés par de nombreux auteurs depuis une vingtaine d'années (Hötker, et al., 2006; Devereux, et al., 2008; Pearce-Higgins, et al., 2009). Les réactions des oiseaux à la présence d'un parc éolien sont très variables selon les sites, les espèces voire entre les individus d'une même espèce (Schuster, et al., 2015; Hötker, et al., 2006; May, et al., 2015). Par exemple, de nombreuses espèces de rapaces sont considérées comme peu ou pas sensibles à la présence d'éoliennes que ce soit pour les activités de vol (effet barrière) ou les activités au sol (effet déplacement) (Hötker, et al., 2017), entre autres le Faucon crécerelle, la Buse variable, les milans. A contrario, d'autres espèces de rapaces montrent des altérations des activités de vol à proximité de parcs éoliens (Aigle royal) (Itty, et al., 2017).

Par ailleurs, des groupes d'oiseaux, notamment les anatidés et limicoles, sont considérés comme globalement sensibles à l'effet déplacement (perte d'habitats) en phase d'exploitation, qui peut amener à des diminutions d'activité de repos et/ou d'alimentation sur quelques centaines de mètres autour d'éoliennes (Rydell, et al., 2017; Schuster, et al., 2015; Gove, et al., 2013). Certaines espèces de passereaux chanteurs semblent également subir des réductions de densité à proximité de parcs éoliens, mais ces effets sont souvent délicats à étudier (Bastos, et al., 2016; Farfán, et al., 2017). Certains auteurs (Zwart, et al., 2016) indiquant un impact négatif du bruit produit par les éoliennes sur la territorialité des espèces de passereaux chanteurs comme le Rouge gorge, sans réellement quantifier de distances d'impact.

De nombreuses études et synthèses traitant d'une espèce en particulier ou de quelques espèces ont été réalisées au Royaume-Uni ou aux Etats-Unis notamment. Ces études et leurs résultats montrent qu'il n'est pas évident de généraliser les réactions d'une espèce d'oiseau donnée à l'implantation d'un parc éolien terrestre.

Les raisons pour lesquelles certaines espèces montrent ces comportements d'évitement des abords des éoliennes sont assez mal comprises (perçues comme une menace en elle-même ou bien comme un support possible pour des oiseaux de proie) (Schuster, et al., 2015). La prise en considération des effets cumulés d'éventuelles lignes électriques associées est un enjeu dans certains pays (Smith, et al., 2016), mais pas en France où ces lignes sont généralement enterrées.

Des effets d'accoutumance à la présence d'éoliennes ont été mis en évidence sur certaines espèces sensibles, notamment des oies. Cela se traduit par une réduction des distances d'éloignement moyennes observées au fil des années après construction (Reichenbach, 2017). Il n'existe cependant pas de consensus actuellement sur les effets d'accoutumance, qui peuvent par ailleurs être influencés par la hauteur des éoliennes (l'effet « épouvantail » pourrait être plus important pour les grandes éoliennes, mais sur ce point également les avis divergent) (Schuster, et al., 2015; Hötker, et al., 2006).

L'exploitation d'un site par l'avifaune est déterminée par de nombreux paramètres, notamment la qualité des habitats, la structure de l'habitat, la hauteur de végétation, les ressources alimentaires, les perturbations anthropiques, etc. Il peut s'avérer difficile de faire ressortir les effets directement imputables aux éoliennes.

Concernant les chiroptères, l'essentiel des travaux de recherche et publications des 15 dernières années concerne les risques de mortalité (collision ou barotraumatisme) ainsi que les comportements des chiroptères pouvant influencer ces risques (périodes d'activité, conditions météorologiques). Des résultats d'étude montrent que les risques de mortalité sont plus élevés en ce qui concerne les migrateurs que les chiroptères locaux (Lehnert, et al., 2014; Voigt, et al., 2015; Voigt, et al., 2012). Les effets de la présence d'éoliennes sur les activités des chiroptères à proximité des éoliennes (à plusieurs centaines de mètres autour) constituent un nouvel axe de recherche actuellement prioritaire, en France métropolitaine (Barré, 2017; Millon, et al., 2015; Millon, et al., 2018) et ailleurs dans le monde (Millon, et al., 2018; Minderman, et al., 2017). Il semblerait, d'après certaines études, que plusieurs espèces de chiroptères montrent des activités plus faibles à proximité des éoliennes (quelques centaines de mètres). Parallèlement, plusieurs auteurs mettent en évidence une certaine attractivité des éoliennes et des comportements de recherche alimentaire directement au contact des mâts ou dans le volume brassé par les pales (Cryan, et al., 2014; Foo, et al., 2017). D'autres hypothèses ont été ou sont étudiées comme l'attractivité indirecte liée à des mouvements et l'émergence d'essaïms d'insectes de façon saisonnière qui sont en forte concordance avec les phénomènes climatiques comme les hautes pressions atmosphériques (Rydell, et al., 2010). Sur ce dernier point (Long, et al., 2011) ont travaillé sur l'effet possible de la couleur des éoliennes sur l'attractivité des insectes. En l'état des connaissances et éléments mis en évidence, il n'est pas possible de généraliser et d'anticiper les effets de la présence d'éoliennes terrestres sur les activités des chiroptères et leur population. Des études complémentaires sont ainsi nécessaires pour mieux comprendre les facteurs influençant les activités des chiroptères à proximité des éoliennes (Minderman, et al., 2017; Barré, 2017; Millon, et al., 2018).

Quelques documents identifiés traitent spécifiquement des effets de la présence de parcs éoliens terrestres sur les mammifères terrestres (Łopucki, et al., 2017; Łopucki, et al., 2018a; Łopucki, et al., 2018b; Lovich, et al., 2013; Kikuchi, 2008; Perrow, 2017a). Les effets possibles documentés pour ces espèces concernent, comme pour tout aménagement, les impacts directs et indirects en phase travaux (destruction de milieux et mortalité d'individus, perturbations sonores et visuelles).

L'effet déplacement et l'effet barrière liés à la présence d'éoliennes en milieu terrestre font l'objet d'études depuis plus de 20 ans, principalement en Europe et Amérique du Nord. La littérature permet de mettre en évidence les principales espèces et groupes d'espèces considérés comme sensibles à ces effets (parmi les oiseaux notamment). Ces effets demeurent cependant très variables en fonction des sites, des caractéristiques du parc éolien, des espèces voire entre les individus d'une même espèce. Les perturbations d'activités de chiroptères à proximité d'éoliennes terrestres font également l'objet de publications récentes, appelant à poursuivre la compréhension des mécanismes associés.

### 11.2.3 Blessures ou mortalité d'individus (en phase d'exploitation)

Les risques de blessure ou de mortalité d'individus d'espèces de faune volante (oiseaux et chiroptères) avec les pales des éoliennes constituent le type d'impact qui focalise le plus l'attention. Cependant, toutes les espèces d'oiseaux et de chiroptères ne présentent pas les mêmes probabilités de collision avec les éoliennes (Schuster, et al., 2015; Marques, et al., 2014; Perrow, 2017a).

Les risques de collision sont dépendants de très nombreux paramètres. Ces risques sont très variables selon l'intérêt avifaunistique du site (espèces présentes, densités, types d'activités, etc.), les caractéristiques des éoliennes et leur fonctionnement, les conditions météorologiques, les caractéristiques de l'espèce considérée (envergure, hauteur de vol, temps passé en vol, manœuvrabilité) ainsi que d'autres phénomènes comme l'évitement des éoliennes. Trois types de comportement d'évitement des éoliennes par les oiseaux sont recensés par la bibliographie : le macroévitement (longue distance, évitement du parc éolien), le méso-évitement (évitement des éoliennes ou lignes d'éoliennes au sein du parc) et le micro-évitement (évitement des éléments de l'éolienne, notamment les pales) (May, 2015).

De nombreux auteurs (Marques, et al., 2014; Schuster, et al., 2015; Masden, et al., 2016; Tabassum, et al., 2014; May, 2015; May, et al., 2015; Perrow, 2017a) relèvent que les risques de collision sont influencés par :

Des paramètres propres à la zone géographique où est implanté le parc éolien : topographie, conditions météorologiques et de visibilité, proximité de secteurs de fort intérêt ornithologique (nidification, alimentation, regroupement), proximité de voies migratoires, ressources alimentaires ;

Des paramètres intrinsèques au parc éolien : nombre d'éoliennes, caractéristiques des éoliennes (hauteur du mât, diamètre du rotor, dimensions et forme des pales, profil de fonctionnement des pales), disposition des éoliennes, visibilité des pales, balisage et éclairages ;

Des paramètres liés aux activités et aux caractéristiques des animaux volants : abondance des oiseaux ou chiroptères en vol, périodes de présence, type d'activité (migration, recherche alimentaire, nidification, etc.), proportion d'activités nocturnes, caractéristiques morphologiques (envergure), type de vol, temps passé en vol, réactions à proximité d'éoliennes et comportements d'évitement, etc.

Par ailleurs, il est important de considérer les spécificités individuelles. En effet, pour un même parc éolien, les comportements et réactions peuvent être très variables entre les individus d'une même espèce (May, 2015; Schuster, et al., 2015).

Les risques de collision sont très variables selon les espèces, leurs comportements, les caractéristiques des éoliennes, du parc, son emplacement, etc.

Les risques de collision peuvent concerner des oiseaux toute l'année, avec des pics lors des périodes de migration (Schuster, et al., 2015; Marx, 2017). Le risque de collision est généralement considéré plus fort avec l'augmentation de l'abondance des oiseaux (multiplication des risques individuels) bien que cette hypothèse ne fasse pas consensus pour tous les auteurs et tous les groupes d'espèces (De Lucas, et al., 2008; Marques, et al., 2014; Schuster, et al., 2015; Perrow, 2017a). La littérature analysée ne permet cependant pas de hiérarchiser les conditions météorologiques ou d'autres paramètres influençant, de façon générale, les risques de mortalité. Les risques de collision sont liés à un ensemble très large de paramètres concernant le site d'installation et ses abords (intérêt pour la faune volante), les caractéristiques du parc éolien, les conditions météorologiques, etc.

Une attention très forte est portée en Europe et dans le monde aux risques de collision concernant les rapaces, notamment des espèces rares ou emblématiques comme l'Aigle royal, le Pygargue à queue blanche ou les vautours (De Lucas, et al., 2008; Marques, et al., 2014; Schuster, et al., 2015; Rydell, et al., 2017; Hötter, et al., 2017; Smallwood, et al., 2017; Smallwood, 2013; Watson, et al., 2018; Perrow, 2017a). Toutefois, les retours de suivis et la majorité des études réalisées en France et en Europe indiquent que ce sont les passereaux migrateurs, notamment ceux migrant de nuit, qui forment l'essentiel des cas de collisions recensés (Marx, 2017; Grunkorn, et al., 2017; Aschwanden, et al., 2018). Ceci est à rattacher à plusieurs aspects : d'une part, les effectifs souvent conséquents de nombreuses espèces de passereaux, en comparaison des rapaces (à l'exception, en France, de la Buse variable et du Faucon crécerelle). D'autre part, l'implantation des parcs éoliens est majoritairement réalisée à l'écart des secteurs de forte activité des grands rapaces (aigles, milans royaux, vautours) ce qui limite les risques.

A ce propos, une base de données de cas de collision d'oiseaux et de chiroptères recensés en Europe est tenue à jour par Tobias Dürr (Allemagne). Les informations remontées sont basées sur le volontariat et ne peuvent être considérées comme exhaustives. Cette base fournit cependant une indication des principales espèces sujettes à collision. Elle montre également une distorsion des nombres de cadavres recensés, avec une surreprésentation probable (par rapport au ratio des collisions effectives) des cas de collision des rapaces par rapport à d'autres groupes d'espèces. En effet, les rapaces suscitent généralement une plus grande attention et les informations concernant des collisions sont plus souvent transmises que pour des espèces de passereaux communs, par exemple.

Concernant les chiroptères, au-delà de la mortalité d'individus en transit, de nombreux travaux sont menés sur l'attractivité des éoliennes terrestres pour certaines espèces de chiroptères : approche des éoliennes par des animaux en recherche alimentaire, attractivité de ces structures hautes pour des espèces forestières (Horn, et al., 2008; Cryan, et al., 2014; Jameson, et al., 2014; Schuster, et al., 2015; Rydell, et al., 2016). Par ailleurs, l'influence des dimensions des éoliennes sur les risques de collision des chiroptères n'est pas bien appréhendée, certains auteurs indiquant une influence (mortalité plus importante pour des grandes éoliennes) (Loss, et al., 2013; Schuster, et al., 2015) (Barclay, et al., 2007 cité dans Thompson, et al. (2017), tandis que d'autres études ne mettent pas en évidence de lien (Schuster, et al., 2015; Thompson, et al., 2017). Les difficultés à caractériser les impacts par mortalité dans le cadre des études préalables à la construction de parcs éoliens a été mise en évidence (Lintott, et al., 2016), une attention forte étant portée sur les effets cumulés possibles des parcs éoliens sur les populations de certaines espèces migratrices (Frick, et al., 2017; Lehnert, et al., 2014). De nombreux facteurs affectent les risques de mortalité des chiroptères, dont les activités de vol sont fortement influencées par les conditions météorologiques (vitesse du vent, température, pluviosité) ou encore la proportion de milieux ouverts à proximité des éoliennes (Thompson, et al., 2017). Les niveaux de mortalité, et par la même la sensibilité des espèces, sont nettement corrélés au temps passé à des hauteurs supérieures à 25 mètres, qui lui-même est lié aux capacités et techniques sonars des différentes espèces (Roemer, et al., 2017; Roemer, 2018).

Des outils de minimisation des risques de collision des oiseaux et des chiroptères existent ou sont en développement. Pour les oiseaux, les approches les plus largement mises en œuvre actuellement étant basées sur un suivi en temps réel (par caméras et/ou radar) avec, dans le cas de situations à risques, soit des déclenchements d'effaroucheurs sonores, soit un ralentissement voir un arrêt des éoliennes. Pour les chiroptères, les mesures de réduction des risques se basent principalement à ce jour sur une adaptation du fonctionnement des éoliennes (arrêts ciblés) lors de conditions météorologiques favorables à la migration ou à l'activité des chiroptères ; des dispositifs basés sur un suivi en temps réel sont en développement.

La détermination du nombre de cas de collision d'oiseaux et de chiroptères par an à l'échelle d'un parc éolien constitue un exercice complexe, qui requiert des données précises et des efforts de recherche importants. En France, un suivi de la mortalité des parcs éoliens est obligatoire depuis août 2011. L'obligation réglementaire de versement des données brutes de biodiversité en France (article L411-1A du Code de l'environnement issu de la loi du 8 août 2016) devrait permettre, à moyen terme, de disposer de volumes de données conséquents.

En phase d'étude préalable, le recours à des modèles d'évaluation des risques de collision est relativement régulier dans certains pays (anglo-saxons notamment) : ces modèles permettent de fournir une estimation prédictive des risques de collision, mais nécessitent de très importants volumes de données entrantes précises (densités d'oiseaux en vol, hauteurs de vol, périodes, etc.). Des synthèses complètes et détaillées des modèles de collision, leurs caractéristiques, les avantages et limites de leur utilisation ont été récemment publiées (Masden, et al., 2016) (Smales, 2017 cité dans Perrow (2017a)). La validité de l'utilisation des modèles de collision sur les parcs éoliens terrestres a été testée sur plusieurs sites (Smales, 2017 cité dans Perrow (2017a)), la plus vaste étude sur ce sujet ayant été menée en Allemagne dans le cadre du projet PROGRESS (Grünkorn, et al., 2016) concernant le modèle de risque de collision élaboré par Band (2012). Il en ressort des décalages parfois importants entre les mortalités réellement constatées et

les estimations issues des modélisations à partir du modèle de Band, avec une tendance majoritaire à la sous-estimation des risques par le modèle de Band. Les auteurs indiquent, comme déjà mis en évidence par d'autres publications (Chamberlain et al., 2006 ; May et al., 2010, 2011 cités dans Grünkorn, et al. (2016)) que, d'une part, les modèles de collision nécessitent des quantités importantes de données d'observation pouvant être parfois complexes à compiler (estimations de densités oiseaux en vol et comportements des oiseaux en vol notamment) et, d'autre part, que de nombreux paramètres d'incertitude (paramètres comportementaux notamment) sont mal pris en compte dans le modèle de Band. Une publication de synthèse (Masden, et al., 2016) récente fournit une analyse critique des caractéristiques, qualités et limites d'une dizaine de modèles de collision utilisés à travers le monde. En France, le recours aux modélisations des risques de collision pour les parcs éoliens terrestres est très peu développé. Concernant les chiroptères, (Roemer, et al., 2017) proposent un index de sensibilité et (Roemer, 2018) dans sa thèse donne des pistes permettant d'évaluer les risques de collision.

En phase d'exploitation, de nombreux parcs éoliens terrestres font l'objet de suivis de mortalité. De tels suivis sont obligatoires en France, et font l'objet d'un protocole national cadrant leur mise en œuvre. Ce protocole national est basé, dans sa version 2018, sur la réalisation de recherche de cadavres autour des éoliennes, suivant des transects parcourus par des observateurs avec un pas de temps régulier (au moins une fois par semaine) et a minima entre mi-mai et mi-octobre. Les données collectées ainsi que les résultats de tests de correction obligatoires (efficacité de recherche et vitesse de disparition des cadavres) servent à estimer les mortalités réelles par l'utilisation de formules mathématiques. Plus de 10 formules de calcul de la mortalité induite par les éoliennes terrestres ont été élaborées dans le monde, chacune présentant des spécificités, points forts et points faibles tel que montré par des publications de synthèse (Bernardino, et al., 2013; Korner-Nievergelt, et al., 2015; Masden, et al., 2016).

Ces formules d'évaluation de la mortalité permettent de passer d'une mortalité constatée (nombre de cadavres retrouvés lors d'un suivi) à une mortalité estimée (prenant en compte les durées entre les sessions de recherche, la vitesse de disparition des cadavres, par prédation notamment, les taux de détectabilité selon les végétations et l'efficacité de recherche, les superficies couvertes, etc.). A l'heure actuelle, il n'existe pas une formule d'estimation de mortalité universelle bien que des travaux en ce sens soient menés, notamment par Huso, Dalharp et Korner-Nievergelt.

Les évaluations de mortalité induites par les parcs éoliens terrestres sont complexes et sujettes à de nombreuses limites d'interprétation : fiabilité et représentativité des données issues des suivis de mortalité, caractère extrapolable à de vastes territoires géographiques. Plusieurs estimations de mortalité ont été réalisées aux Etats-Unis mais les résultats varient énormément selon les méthodes et données utilisées (Smallwood, 2013; Loss, et al., 2013; Roscioni, et al., 2013; Wang, et al., 2015b).

Une synthèse récente (Marx, 2017), partielle mais unique en France par son échelle de travail, a fourni des premières indications sur les principales espèces d'oiseaux recensées lors de suivis de mortalité en France ainsi que concernant les nombres de cas de collision recensés ou calculés sur des éoliennes à l'échelle française, avec une attention plus spécifique sur des parcs proches de sites Natura 2000. Cette étude indique que six espèces constituent une proportion importante des cadavres retrouvés sur les parcs pris en compte : Roitelet triple-bandeau, Martinet noir, Faucon crécerelle, Mouette rieuse, Alouette des champs et Buse variable. Une estimation de la mortalité réelle a été réalisée sur huit parcs, la mortalité réelle estimée dans les rapports varie de 0,3 à 26,8 oiseaux tués par éolienne et par an, la médiane s'établissant à 4,5 et la moyenne à 7,0.

Pour les chiroptères, si l'on tient compte de l'abondance des espèces pour relativiser la proportion des pipistrelles retrouvées impactées, ce sont les espèces migratrices de haut vol comme les noctules qui sont le plus touchées.

L'évaluation des nombres de cas de collision réels d'oiseaux et de chiroptères par éolienne et par an est un exercice particulièrement complexe, soumis à de nombreux paramètres pouvant affecter la qualité et la fiabilité des estimations. Il n'existe, à l'heure actuelle, aucun référentiel faisant consensus relatif au nombre moyen réel de collision d'oiseaux et de chiroptères par éolienne et par an, à l'échelle de la France ou bien pour d'autres régions géographiques. La standardisation des protocoles de suivis des parcs éoliens terrestres et l'obligation de suivis en France pourraient permettre de disposer, à moyen terme, de jeux de données suffisamment larges, robustes et comparables pour tenter d'évaluer des nombres réalistes de cas de collision par an et par éolienne à l'échelle française ou par sous-régions biogéographiques.

La réduction des risques de mortalité par collision constitue un axe de travail et recherche important. Des mesures et outils visant à réduire les risques de mortalité sont d'ores et déjà mis en œuvre (par exemple : arrêt ciblé du fonctionnement des éoliennes lors de périodes de forte activité de chiroptères). Des techniques visant à réduire les

## 16 Annexes

risques de mortalité pour les oiseaux existent ou sont en développement (basées sur des suivis en temps réel, couplé à des effaroucheurs voire un arrêt des éoliennes).

Les phénomènes de mortalité de la faune volante (oiseaux et chiroptères) induits par le fonctionnement des parcs éoliens terrestres (choc avec les pales en mouvement, barotraumatisme) sont très largement développés dans la littérature et constituent le principal impact traité. Malgré de nombreuses publications spécifiques, les facteurs influençant l'importance des collisions et chocs demeurent cependant encore partiellement compris notamment pour les chiroptères. Des modèles d'estimation des collisions existent mais nécessitent de très grandes quantités de données, gèrent parfois difficilement les incertitudes et sont rarement mis en œuvre en France pour l'éolien terrestre. Des suivis de la mortalité sont obligatoires en France et peuvent permettre d'estimer les mortalités réelles des oiseaux et chiroptères via l'utilisation de modèles mathématiques. Ces estimations demeurent délicates et nécessitent une grande robustesse de mise en œuvre dans les suivis. Par ailleurs, il n'existe pas de référentiel permettant de préciser finement les mortalités moyennes en France, ou à l'échelle de régions. Au-delà des effectifs impactés, il convient de s'attacher à l'évaluation des conséquences des mortalités sur l'état de conservation et les dynamiques des populations, qui implique un traitement différencié, par espèce (statuts de rareté, stratégie de reproduction, âge de première reproduction, évolution de l'état de conservation, etc.).

### 11.2.4 Modifications des paramètres environnementaux

Les caractéristiques des parcs éoliens terrestres en France ne conduisent pas à identifier d'effets spécifiques concernant les aspects relatifs à la modification de paramètres environnementaux (par exemple, la littérature ne soulève pas de problématique particulière de champs électromagnétiques au regard de l'enfouissement des câbles de raccordement électrique).

A noter que la phase d'extraction de certains matériaux utilisés dans les éoliennes terrestres peut avoir un impact non négligeable sur la pollution des sols et de l'eau. Ces impacts ne sont cependant pas étudiés dans le cadre spécifique de structures EnR.

### 11.2.5 Méthodes d'évaluation des impacts, méthodes de suivi et incertitudes

La maturité de la technologie éolienne, l'ancienneté des parcs terrestres ainsi que l'existence de nombreux suivis et de plusieurs démarches collaboratives, offrent une base de connaissances exceptionnellement riche sur les effets de l'éolien terrestre sur la biodiversité.

De nombreuses publications de synthèse ainsi que des livres et actes de conférence de haut niveau technique et scientifique ont été publiés ces dernières années. Ils offrent des niveaux de détail ne pouvant pas être repris ici.

A l'échelle française, le guide méthodologique relatif à l'éolien terrestre a été actualisé en 2016 sous l'égide du Ministère de l'environnement (MEEM, 2016). Ce guide fournit des recommandations et un cadre national sur les méthodes d'expertises et évaluation des impacts. Des guides et déclinaisons régionales ont été élaborés ou sont en cours d'élaboration dans plusieurs régions françaises. Les recommandations détaillées de ces guides et déclinaisons ne peuvent pas être reprises ici, mais constituent un cadre méthodologique établi pour l'élaboration de l'état initial et l'environnement, base de l'évaluation des impacts des projets de parcs éoliens terrestres sur la biodiversité. En termes de suivis des impacts par collision, un protocole national de suivi, validé en avril 2018, cadre la réalisation des suivis et l'exploitation des données.

Il existe de nombreuses méthodes et modèles visant à évaluer les effets des projets de parcs éoliens terrestres sur la biodiversité, une majorité d'entre eux ciblant les oiseaux et chiroptères. Ces modèles concernent, en premier lieu, l'évaluation des mortalités (collision de la faune volante) et des perturbations (effet déplacement). Deux synthèses récentes des méthodes d'évaluation quantitative des impacts de l'énergie éolienne sur les oiseaux et les chiroptères ont été publiées (Laranjeiro, et al., 2018; Sinclair, et al., 2018). Les auteurs y présentent des synthèses de divers modèles existants : modèles de risques de collision, modèles de distribution des espèces, modèles ciblant les populations d'espèces ou les individus. Ils rappellent également l'existence de plusieurs indices de vulnérabilité spécifiques à la mortalité, aux perturbations et/ou aux pertes d'habitats.

Malgré les incertitudes qui demeurent sur la compréhension des phénomènes expliquant certains impacts, plusieurs auteurs (Laranjeiro, et al., 2018; May, et al., 2017) préconisent un accroissement du partage des informations, retours

d'expérience ainsi qu'une approche de l'évaluation des impacts non uniquement centrée sur chaque projet mais raisonnée à l'échelle des populations d'espèces, dans une approche visant les effets cumulés. Ces synthèses rappellent par ailleurs l'importance de poursuivre les efforts et recherches sur les outils de minimisation des impacts en phase d'exploitation, mais également sur toutes les étapes de planification (éviter et réduction d'impacts) puis de compensation d'impacts.

Le Code de l'environnement (articles relatifs aux études d'impacts et évaluation environnementales) fixe les attendus réglementaires de l'évaluation des impacts des projets éoliens. Plusieurs guides et des recommandations régionales cadrent plus spécifiquement la réalisation des études d'impacts des projets éoliens terrestres en France. Par ailleurs, pour certains effets, des modèles ont été élaborés pour anticiper les impacts (collision, déplacement) ; leur utilisation nécessite cependant des précautions, une bonne connaissance de leurs limites et de très importants volumes de données, au-delà des pratiques en vigueur.