



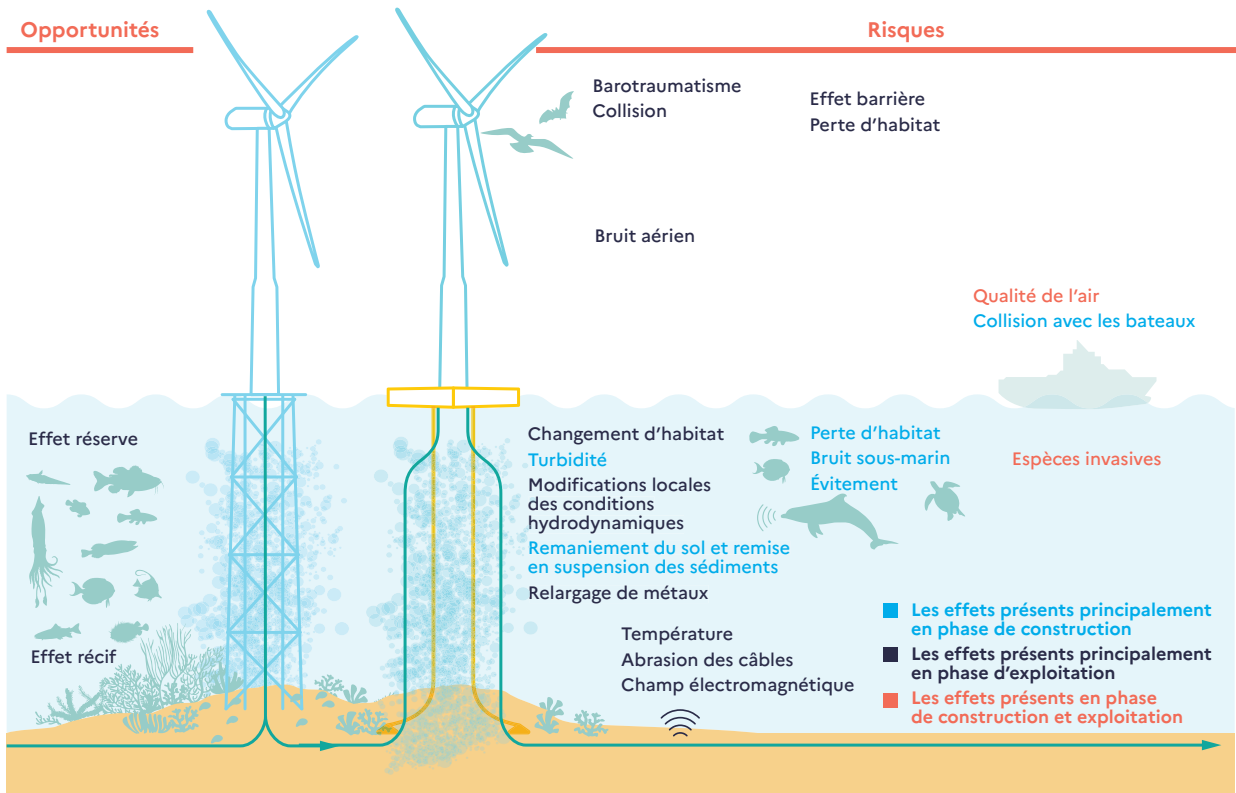
FICHE 41

Impacts de l'éolien en mer et des ouvrages de raccordement sur l'environnement

Messages clés:

- Les différents ouvrages (fondations, ancrages, éoliennes, postes électriques, liaisons électriques) ont des impacts sur l'environnement au cours de la phase d'installation (bruit, destruction d'habitats) mais aussi lors de la phase d'exploitation.
- La planification spatiale fine et les études environnementales importantes avant le déploiement des projets garantissent la minimisation de ces impacts. Ces derniers sont anticipés en s'appuyant sur les retours d'expérience de projets similaires, et via une mise en œuvre rigoureuse de la démarche « ERC » (voir fiche 43).
- Le développeur éolien et RTE auront l'obligation de réaliser une étude d'impact après le débat public afin de quantifier plus précisément les conséquences du projet.
- Au-delà des impacts négatifs pour l'environnement marin, la communauté scientifique commence à s'intéresser aux potentielles externalités positives des parcs pour le milieu marin (effet réserve, effet récif). L'étude de ces effets dans les conditions propres au littoral français reste à étudier.

Les opportunités et les risques de l'implantation d'un parc éolien en mer et de son raccordement pour l'environnement marin



Source : Ministère de la Transition énergétique

stratéact 2023

L'évaluation des impacts sera réalisée par les porteurs de projet (le développeur éolien et RTE) dans une étude d'impact, après le débat public. À ce stade du projet, l'État et RTE s'attachent toutefois à présenter les impacts potentiels d'un parc éolien en mer et de ses ouvrages de raccordement sur l'environnement à partir des retours d'expérience d'autres projets.

On distinguera pour chaque ouvrage :

- les impacts liés aux travaux d'installation ou aux travaux de maintenance ;
- les impacts liés à l'exploitation des ouvrages.

1. Éolien posé et flottant : les fondations

1.1. Les impacts potentiels liés aux travaux d'installation ou aux travaux de maintenance

Les fondations permettent de maintenir en position les éoliennes et de résister à la force du vent, de la houle et des courants marins. La mise en place des fondations génère des impacts de différentes natures et plus ou moins durables en fonction du type de structure retenu pour le projet. Pour l'éolien posé :

- La fondation monopieu (pieu en acier de grand diamètre), ainsi que la fondation jacket (structure en treillis métallique reposant sur quatre pieux de faible diamètre), nécessitent toutes les deux d'avoir recours aux techniques de battage ou de forage afin d'être enfoncées à plusieurs dizaines de mètres dans le sous-sol marin.
- La fondation gravitaire correspond quant à elle à une structure de béton de plusieurs dizaines de mètres de diamètre, acheminée en flottant jusqu'au site puis remplie de ballast, ce qui permet de la couler pour la déposer sur le fond marin.
- La fondation peut éventuellement être entourée de roches afin de limiter les phénomènes d'érosion du sol provoqués par le courant (phénomène d'affouillement).

Les fondations flottantes pour l'éolien flottant sont des structures en acier ou en béton reliées au sol marin par des systèmes d'ancrages.

Ces travaux pour pose de fondations pour l'éolien posé ont des effets permanents et temporaires sur les écosystèmes :

- La préparation du sol et la mise en place des fondations détruisent par écrasement les habitats et les espèces de mollusques, de crustacés et de poissons des fonds marins peu mobiles situés à l'endroit des travaux. Cet effet est permanent là où les structures viennent s'insérer définitivement dans le sol, et temporaire aux endroits où reposaient les jambes des navires d'installation auto-élévateurs.
- Les monopieux et les pieux de jacket ont une emprise au sol de quelques dizaines de mètres carrés. Cette emprise est bien moins importante que celle des fondations gravitaires, de l'ordre de quelques milliers de mètres carrés chacune, ce qui limite la perte d'habitat.
- L'installation des fondations provoque aussi un remaniement des fonds marins avec une remise en suspension des matières fines. La redéposition des sédiments et le changement de turbidité (c'est-à-dire l'augmentation de la teneur en particules qui troublent l'eau) dépendent de la composition des sols et des conditions hydrodynamiques (courants, houle...) de la zone. S'ils vont concerner l'ensemble de la faune marine de manière temporaire, ils n'impactent réellement que les espèces du fond marin fixées au sol ou peu mobiles, qui ne sont pas capables d'éviter la zone. En cas de présence de polluants dans la couche de sédiments, la remise en suspension provoquée par les travaux va contaminer le milieu et ainsi entraîner une baisse de la qualité de l'eau.
- Selon la dureté du sol, les pieux sont enfoncés dans le fond marin par battage (le pieu est battu par un marteau hydraulique) ou forage (le pieu est installé après avoir préalablement creusé le sol). Les travaux de battage génèrent un bruit sous-marin impulsif (ponctuel) important. Le bruit généré par un forage est quant à lui plus continu. En fonction de la distance à laquelle se trouvent les mammifères marins, le bruit peut entraîner chez les individus proches des travaux des blessures temporaires voire une perte d'audition permanente. Le bruit du chantier peut également provoquer des perturbations du comportement en brouillant l'ouïe hautement développée dont disposent les mammifères marins pour communiquer, naviguer, s'orienter, éviter les prédateurs et se nourrir. Le bruit généré par le battage et le forage affecte aussi les poissons dotés d'une vessie natatoire (organe de flottabilité) à proximité de l'oreille interne et qui sont donc sensibles au bruit, ainsi que les larves, les mollusques et les crustacés situés aux abords de la source de bruit. Les dommages peuvent être temporaires (blessure mineure) ou permanents (blessure importante, mortalité). Ils sont toutefois limités à la zone proche de la source d'émission. Pour les mammifères marins, des scientifiques

ont ainsi évalué que la distance létale du battage de pieu était comprise entre 4 et 65 mètres¹. L'installation des fondations gravitaires est quant à elle relativement silencieuse, leur mise en place ne nécessitant pas de battage ni de forage.

- Le trafic des navires tout au long des travaux et lors des activités de maintenance induit un bruit relativement faible et continu, aussi valide pour les activités d'installation pour l'éolien flottant. La faune aura donc tendance à fuir la zone de chantier, ce qui provoquera une perte temporaire d'habitat (son « lieu de vie ») jusqu'à la fin des travaux. La faune revient en effet sur les lieux dans les jours qui suivent l'arrêt du battage².

1.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

Les structures des fondations introduisent un nouveau substrat (support), qui va être progressivement colonisé par les espèces benthiques (du fond marin). Certains crustacés peuvent par exemple s'installer et se cacher entre les enrochements autour des fondations utilisées pour l'éolien posé comme protection contre l'érosion du sol. La colonisation des structures contribue également à concentrer les poissons et les prédateurs.

Ainsi, les structures mises en place introduisent un nouveau substrat qui peut être progressivement colonisé par les espèces benthiques ayant besoin d'un support sur lequel se fixer. Ce développement de biomasse sur des structures artificielles immergées est appelé « effet récif ». Cette colonisation contribue à l'enrichissement de la biomasse, c'est-à-dire la quantité d'organismes vivants. S'il n'est pas exploité, cet enrichissement de la faune marine dû au parc est appelé « effet réserve ». Les fondations colonisées constituent des dispositifs concentrateurs de poissons (DCP). De nouveaux prédateurs (poissons, oiseaux, mammifères marins) peuvent ainsi être attirés et le parc devient alors pour eux une nouvelle zone d'alimentation privilégiée, ce qui constitue un impact positif. Cependant, pour l'avifaune les impacts dus à la collision peuvent augmenter en fonction du comportement des espèces attirées. Les structures immergées peuvent également être colonisées par certaines espèces invasives, c'est-à-dire une espèce indigène qui perturberait les espèces déjà sur place.

Retour d'expérience sur l'effet réserve des parcs éoliens en mer³

Certains retours d'expérience de parcs éoliens en mer exploités à l'étranger témoignent de l'observation d'un effet réserve pour les poissons avec une diversité accrue de poissons au sein de la zone du parc. Cet effet a notamment été observé dans le parc Horns Rev 1 qui a été mis en service en 2002 à 15 km des côtes ouest du Danemark, où de nouvelles espèces de poissons ont été enregistrées dans le récif artificiel ainsi créé. Les chercheurs n'ont en revanche pas observé de disparitions de certaines populations de poissons. La diversité des espèces de poissons a donc augmenté avec l'implantation du parc. D'autres études menées en Belgique et aux Pays-Bas prouvent également l'existence d'un effet réserve.

Cependant, d'autres retours d'expériences sont plus prudents sur l'effet réserve permis par le parc éolien en mer. Un programme de contrôle et d'évaluation des impacts sur l'environnement (dont les communautés halieutiques) de la construction de la première ferme éolienne néerlandaise, construite entre 10 et 18 km des côtes en 2006, a été mené par l'IMARES (l'équivalent néerlandais de l'Ifremer). L'étude a réalisé des analyses avant la construction, puis après la construction. Il en ressort qu'à l'échelle de la zone côtière néerlandaise, il ne peut pas être observé d'effet significatif en termes d'abondance. Il a été observé une légère augmentation de l'anchois supposée être un résultat de la diminution de la pression de prédation liée à la protection apportée par la ferme éolienne ; à l'échelle du parc, de nettes différences ont pu être observées entre le nouveau substrat dur (artificiel) et le fond sableux : de grands groupes de poissons ont été observés près des monopieux et des protections anti-affouillement (cabillaud, tacaud, chaboisseau commun, chabot de mer et dragonnet lyre), mais une moindre abondance en poissons plats, sole, limande, plie, et merlan.

1 Parvin, S.J., et al., 2007 cité par Chauvaud, S., et al. 2018. Impacts des sons anthropiques sur la faune marine. Versailles : Editions Quæ. 109 pp. Ces estimations peuvent varier selon divers facteurs liés à l'intensité du battage et au milieu physique (par exemple la taille du pieu ou la profondeur).

2 Brandt, M.J., et al., 2016 et Rumes, B., et al., 2017 cités par Rumes, B. et Deboschere, J., in *Memoirs on the marine environment*. 2018, p. 123 : https://odnature.naturalsciences.be/downloads/mumm/windfarms/winmon_report_2018_final.pdf

3 https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/7615058/246_2011_effect_of_the_horns_rev_1_offshore_wind_farm_on_fish_communities.pdf
https://odnature.naturalsciences.be/downloads/mumm/windfarms/winmon_report_2018_final.pdf
https://www.informatiehuismarien.nl/publish/pages/109383/owez_r_264_t1_20121215_final_report_fish_4222.pdf

Par ailleurs, les anodes galvaniques, dites anodes sacrificielles sur les éoliennes permettent de limiter la corrosion des structures en diffusant une très faible quantité de métaux (aluminium et zinc notamment) dans l'eau. On retrouve ce type de protection contre la corrosion sur toutes les structures en métal immergées; notamment sur les bateaux et les éoliennes en mer. Pour des fondations monopieux, chaque structure est équipée d'environ 9 tonnes d'anodes⁴. Les concentrations de métaux diffusés par les anodes des éoliennes sont toutefois négligeables par rapport aux concentrations mesurées naturellement dans le milieu. Le projet ANODE de l'institut France Énergies Marines (FEM) s'est attaché à modéliser la diffusion de métaux dans le milieu et sera approfondi par des travaux sur l'écotoxicité de l'aluminium.

2. Éolien flottant: les ancrages et les lignes d'ancrage

2.1 Les impacts potentiels au cours des travaux

La pose des ancrages et des lignes d'ancrage, qui permettent de fixer les éoliennes flottantes au fond marin, engendrent des impacts majoritairement temporaires. Les impacts potentiels dépendent de la nature des sols et du type d'ancrages installés. On peut distinguer les ancrages qui pénètrent dans le sol meuble grâce à l'action de tractage d'un navire, et les ancrages qui sont déposés puis enfoncés au même endroit dans le sol grâce à différentes méthodes selon la dureté du fond marin. Il peut s'agir par exemple de caissons qui pénètrent dans le sol grâce à un mécanisme de pompes et de sous-pression.

La pose des ancrages

Lorsque l'ancre est tractée sur quelques dizaines de mètres, elle entraîne un remaniement des sols, la modification et la destruction des habitats et des espèces benthiques (sur le fond marin) sessiles (fixées au sol) ou peu mobiles, qui ne sont donc pas capables de fuir la zone, ainsi qu'une remise en suspension des sédiments. La destruction d'habitat est généralement temporaire car le développeur du parc doit veiller à choisir des habitats résilients pouvant ensuite reconquérir la zone. La redéposition des sédiments et le changement de turbidité induits par ce remaniement du fond marin dépendent de la composition des sols et des conditions hydrodynamiques (courants, houle, etc.) de la zone. Si ces phénomènes concernent l'ensemble de la faune marine de manière temporaire, ils n'impactent réellement que les espèces benthiques fixées au sol ou peu mobiles, qui ne sont pas capables d'éviter la zone. En cas de présence de polluants dans la couche de sédiments, la remise en suspension provoquée par les travaux contamine l'eau et entraîne ainsi une baisse de la qualité de l'eau.

Pour les sols sédimentaires, dans le cas des ancrages dont la mise en place ne requiert pas de tractage, la destruction des habitats benthiques et le remaniement des sédiments sont circonscrits à la surface recouverte par les ancrages et, de manière temporaire, au voisinage proche des points d'ancrage.

Les travaux d'installation d'un parc éolien flottant génèrent moins de bruit sous-marin que ceux d'un parc éolien posé. Dans un cas, il s'agit de fixer des ancrages, et dans l'autre, des fondations nécessitant le recours à des technologies plus bruyantes et des temps de travaux plus longs. Les impacts du bruit sous-marin sont donc plus faibles pour l'éolien flottant sur les mammifères marins tout comme sur les poissons dotés d'une vessie natatoire (organe de flottabilité) à proximité de l'oreille interne qui présente une sensibilité au bruit. La faune aura tendance à fuir la zone des travaux: on peut prévoir une perte temporaire d'habitat durant les travaux.

2.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

Les impacts permanents sont liés au frottement des lignes d'ancrage dans le cas où elles sont non tendues sur une petite portion du sol, qui modifie localement les habitats benthiques et peut entraîner la destruction des biocénoses (êtres vivants) initialement présentes.

En revanche, les structures d'ancrage non enfouies introduisent un nouveau substrat, qui peut être progressivement colonisé par les espèces benthiques. Cela contribue à concentrer les poissons et les prédateurs au niveau des flotteurs, phénomène détaillé dans la partie qui suit consacrée aux éoliennes.

3. Les éoliennes des parcs

3.1 Les impacts potentiels au cours de la phase d'installation et des travaux de maintenance

En phase de construction et lors d'opérations de maintenance, le recours à des engins et des navires pour les travaux et la maintenance peut avoir différents impacts sur l'environnement:

- risque de pollution et donc baisse de la qualité de l'eau;
- bruits sous-marins, aériens et activités anthropiques qui peuvent déranger les espèces, qui auront tendance à éviter la zone lors des périodes de travaux et de maintenance;
- risque de collision avec les bateaux, notamment pour les mammifères marins;
- photo-attraction des oiseaux et des chauves-souris par les lumières des bateaux;
- risque d'introduction d'espèces invasives.

3.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

Les impacts permanents sont divers:

- en phase d'exploitation, un parc éolien en mer représente principalement un risque pour l'avifaune (les oiseaux). En effet, une importante proportion des oiseaux vole à moins de 200 mètres d'altitude, zone aussi occupée en partie par les pales, le rotor et le mat d'une éolienne, et conduit à un risque de collision. La collision peut ainsi engendrer une surmortalité dans une population. Le risque de collision dépend des conditions météorologiques et varie d'une espèce à une autre car il est étroitement lié au comportement de l'oiseau en matière d'évitement, de sa hauteur de vol et de l'usage qu'il fait de la zone du parc. Des stratégies d'évitement à différentes échelles ont été observées: on parle de macro-évitement lorsque les oiseaux évitent la zone du parc, de méso-évitement lorsqu'ils adoptent un comportement de vol au sein du parc adapté à la présence d'éoliennes (vol dans les espaces les plus larges entre les éoliennes, à une certaine distance avec les pales) et de micro-évitement pour les actions en vol de dernière minute pour éviter de percuter l'éolienne. Cependant, plusieurs facteurs des parcs éoliens en mer ont été identifiés comme attractifs pour l'avifaune, comme l'augmentation du stock de proies, la présence de potentiels perchoirs ou encore la photo-attraction (attraction par la lumière). Ces facteurs sont susceptibles d'augmenter le risque de collision;
- le parc peut également agir comme un obstacle, poussant les oiseaux à l'éviter en rallongeant leurs vols: on parle d'effet barrière. Cet évitement entraîne une consommation énergétique additionnelle pour les oiseaux, influençant par conséquent la survie et la croissance des populations. Des modèles ont été conçus pour estimer l'impact lié à cet effet. Le parc peut également prendre la place d'une zone fonctionnelle (alimentation notamment) pour une population et engendre ainsi une perte d'habitat. Comme le risque de collision, l'effet barrière et la perte d'habitat varient selon les espèces d'oiseaux. Ces impacts dépendent aussi beaucoup de la disposition des parcs, de leur taille et de leur proximité avec les populations d'oiseaux. L'impact est particulièrement important pour les colonies installées à proximité d'un parc en période de reproduction. En effet, les adultes passent du temps à aller chercher de la nourriture pour leurs petits, et si les parcs se trouvent entre la colonie et la zone d'alimentation, l'évitement devient plus fréquent et consommateur d'énergie;

⁴ Ces estimations sont maximisées car la masse d'anodes nécessaires varie selon le type de fondation et le milieu physique.

Exemple de retour d'expérience: analyse du comportement de plusieurs espèces d'oiseaux au large de l'Angleterre et de la Belgique⁵

En 2019, des chercheurs ont publié leurs travaux portant sur près de dix ans de suivi des oiseaux marins autour du parc éolien en mer Thornton Bank en Belgique. La distribution des oiseaux marins a été observée pendant 3 ans avant la construction du parc puis comparée à la distribution observée pendant 6 ans après la mise en service du parc. Cette étude a permis d'obtenir des données cohérentes indiquant un comportement d'évitement du parc pour les fous de Bassans et les oiseaux appartenant à la famille des alcidés (petit pingouin, guillemot de troïl, etc.). Les chercheurs ont en revanche observé un effet d'attraction du parc pour les grands cormorans et les goélands marins. Ces effets correspondent à ceux observés pour le parc de Belwind, situé à proximité de Thornton Bank, ainsi que dans d'autres études européennes. Toutefois, l'impact des déplacements induits par la présence du parc sur la survie ou la reproduction des oiseaux reste à ce jour peu connu.

Cette étude complète les conclusions de 2018 du programme ORJIP (Offshore Renewables Joint Industry Programme) qui a permis d'analyser les comportements d'évitement et le risque de collision des oiseaux aux alentours du parc éolien en mer de Thanet, situé à 11 km au large des côtes du Kent (Angleterre), mis en service en 2010. Les chercheurs ont procédé à des observations de 5 espèces d'oiseaux (3 espèces de goéland, mouette tridactyle et fou de Bassan) pendant 20 mois. À ce jour, il s'agit de l'étude qui recense le plus de données d'observations sur le comportement des oiseaux près d'un parc éolien en mer opérationnel. L'étude a révélé que les oiseaux mettent en œuvre différentes stratégies: évitement du parc dans son ensemble, évitement à l'échelle d'une éolienne ou bien évitement à la dernière minute, à l'approche directe des pales ou du moteur. Au regard de leurs observations, les chercheurs ont pu conclure qu'en majorité les oiseaux des cinq espèces observées parviennent à éviter la collision.

Ces études sont dépendantes du site et ont été réalisées en Manche et Mer du Nord. Ainsi, les conclusions peuvent ne pas être transposables à la zone Sud-Atlantique, seul le suivi de l'avifaune permet de caractériser le comportement et la sensibilité des oiseaux pour un parc.

- des chauves-souris ayant déjà été observées en mer, on suppose qu'elles peuvent être concernées par le risque de collision, l'effet barrière et le risque de barotraumatisme⁶. Toutefois, le manque de connaissances sur la présence des chauves-souris au large ne permet pas de conclure quant à cet impact.

Exemple de retour d'expérience: analyse du comportement de la pipistrelle de nathusius vis-à-vis des parcs éoliens en mer au large de la Belgique⁷

Les connaissances sur les chiroptères en présence de parcs éoliens en mer sont encore faibles. Les chercheurs belges ont étudié les hauteurs de vol des chiroptères dans un parc éolien en mer et leur risque de collision. Pour cela, ils ont installé huit détecteurs acoustiques à des hauteurs différentes sur des turbines dans le parc de Thornton bank (4 détecteurs à 94 mètres, 4 à 17 mètres) et ont relevé les passages de chauves-souris sur une période de 19 nuits, de fin août 2017 à fin novembre 2017. Étant donné que les enregistrements sont plus nombreux à faible altitude qu'à haute altitude, ils en concluent que les chiroptères ont une faible hauteur de vol. Néanmoins, ce résultat reste à confirmer au travers d'études supplémentaires, notamment pour connaître le lien entre cette hauteur de vol et le risque de collision (notamment la capacité d'évitement). Ces résultats ont par ailleurs confirmé que la majorité de l'activité migratoire des pipistrelles a lieu entre mi-août et fin septembre.

- le bruit sous-marin d'un parc éolien en fonctionnement est considéré comme similaire aux bruits d'origine anthropique habituels (trafic maritime notamment). En phase d'exploitation, il est considéré comme bien moins impactant sur les espèces qu'en phase travaux même s'il demeure mal connu.

⁵ Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. & Vigin, L. (eds). 2019. Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Marking a Decade of Monitoring, Research and Innovation. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, 134 p.
Skov, H., S. Heinänen, T. Norman, R. Wad, S. Méndez-Roldán & I. Ellis 2018: ORJIP Bird Collision and Avoidance Study. Final Report –April 2018. The Carbon Trust, UK
⁶ Le changement brutal de la pression de l'air induit par le mouvement des pales provoquant des lésions internes, cet effet a été observé sur les parcs éoliens terrestres.
⁷ https://odnature.naturalsciences.be/downloads/mumm/windfarms/winmon_report_2018_final.pdf

Exemple de retour d'expérience: 10 ans de suivi environnemental des parcs éoliens en mer au large de la Belgique⁸

Le parc éolien en mer de Thornton Bank, à 28 km des côtes belges, a été mis en service en 2009. Depuis, un suivi environnemental est réalisé dans la durée, pour ce parc et pour les autres parcs éoliens en mer mis en service dans les années qui ont suivi. Le rapport publié en 2018 par l'institut Royal belge des sciences naturelles (Royal Belgian Institute of Natural Sciences, équivalent en France du Museum National d'Histoire Naturelle) présente un aperçu des découvertes scientifiques issues de ce suivi réalisé pendant dix ans.

Ce rapport indique notamment qu'un effet récif a pu être observé, que les hauteurs de vol enregistrées pour les chiroptères sont inférieures au niveau des pales, et que globalement les oiseaux modifient leur trajectoire de vol pour éviter les pales. Le rapport indique également que le bruit lié à la construction des fondations a un impact sur les populations de tortues marines, mais que ces impacts peuvent être limités si suffisamment de mesures appropriées de réduction du bruit sont prises (comme des mesures d'effarouchement qui éloignent les espèces, des rideaux de bulles qui atténuent le bruit sous-marin, ou la prise en compte de la saisonnalité de la fréquentation de la zone par les tortues dans le calendrier de construction des installations).

4. Le poste en mer et les liaisons sous-marines

Le développement de liaisons électriques sous-marines et de postes électriques en mer est susceptible de générer plusieurs types d'impacts sur les organismes et le milieu marin. Les effets des câbles sous-marins ont été synthétisés dans une note publiée par l'Ifremer sur les compartiments benthique et halieutique⁹. Ce document est disponible sur le site Archimer: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00508/61975/>. En outre, pour améliorer la connaissance des impacts, RTE mène et participe à plusieurs projets de recherche notamment en tant que partenaire de plusieurs projets pilotés par France Énergie Marine.

En application de la réglementation environnementale, des mesures sont mises en œuvre à chaque étape du projet pour éviter, réduire et compenser les effets du raccordement sur les écosystèmes marins et littoraux. Il est à noter que du fait des spécificités du milieu marin, les mesures compensatoires au plan environnemental sont encore rares car moins maîtrisées que sur le milieu terrestre. En mer, elles sont très souvent complexes à mettre en œuvre et ne font pas toujours l'objet de consensus sur leur pertinence et efficacité.

Dès la conception du projet, des mesures d'évitement des impacts potentiels sont prises.

Au plus tôt dans la conception du projet, les connaissances bibliographiques sur l'environnement marin, complétées par des informations issues des nombreuses campagnes de mesures environnementales in situ permettent de proposer des mesures d'évitement des impacts potentiels :

Géographiques :

- RTE porte une attention particulière aux impacts potentiels sur les espèces et habitats benthiques vulnérables (herbiers marins, bancs de maërl, laminaires, récifs d'hermelles, coraux...) liés à la modification du substrat (fond marin). Ils sont évités dans la majorité des cas grâce à l'acquisition de connaissances précoces via la prise en compte des aires marines protégées et les études bibliographiques réalisées. En compléments, des campagnes d'acquisitions benthiques alliant prélèvement et imagerie permettent d'affiner la connaissance de l'environnement sur le tracé envisagé par RTE. Les zones fonctionnelles (reproduction, nourricerie, zone de migration) nécessaires au bon accomplissement du cycle de vie des espèces marines sont également prises en compte dans la définition de l'implantation des ouvrages afin que le projet ne remette pas en question le maintien du bon état des habitats et des espèces ainsi que le rôle fonctionnel des secteurs concernés.
- L'évitement géographique peut également concerner l'évitement d'une zone d'activités économique tel que les zones conchylicoles ou d'extractions de granulats
- Temporelles, et notamment au littoral où les périodes de reproduction d'espèces à enjeu de conservation peuvent être évitées (ex Gravelot à collier interrompu - mars-juillet).

⁸ https://odnature.naturalsciences.be/downloads/mumm/windfarms/winmon_report_2018_final.pdf
⁹ Carlier, A., Vogel, C., Alemany, J. 2019. Synthèse des connaissances sur les impacts des câbles électriques sous-marins : phases de travaux et d'exploitation. 101 pp : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00508/61975/>

- Techniques, et notamment :
 - Concernant l'atterrage des liaisons sous-marines, un passage en sous-œuvre peut être réalisé dans la mesure du possible en alternative au creusement d'une tranchée, afin d'éviter des habitats sensibles.
 - La technique d'ensouillage du câble, solution majoritairement privilégiée, permet d'éviter les risques de croches accidentelles par les engins de pêches.

4.1 Les impacts potentiels au cours de la phase d'installation

Les impacts temporaires potentiels sont liés au passage des engins de pose et d'ensouillage des câbles sur le fond marin, au bruit généré par les travaux, à l'augmentation de la turbidité (teneur de matière en suspension dans l'eau), à la remise en suspension éventuelle de contaminants, etc. Ces impacts sont pour la plupart non spécifiques aux liaisons sous-marines et font l'objet d'un niveau de connaissance jugé satisfaisant. Après application de la séquence ERC, ils sont généralement jugés négligeables à faibles. Ils sont limités dans le temps et dans l'espace et font l'objet de mesures d'évitement et de réduction.

- Concernant **l'impact physique sur le substrat**, lorsqu'un habitat vulnérable est identifié sur le tracé des câbles sans possibilité de contournement, des mesures de réduction d'impact peuvent être mises en œuvre : certains types de charriours ou techniques d'ensouillage ou de pose permettent de réduire la perturbation du fond et de favoriser la recolonisation.
- **Le bruit** généré par les travaux d'installation de câbles ou de plateformes est limité dans le temps et son impact est variable en fonction du bruit ambiant, de la nature des travaux et des espèces présentes.
 - Liaisons sous-marines : L'impact est jugé faible pour les poissons et le benthos. Par ailleurs, pour les espèces mobiles, incluant les mammifères marins, il est probable qu'un simple comportement de fuite soit adopté. Une surveillance active et/ou passive peut être mise en place pour le chantier, ainsi que des mesures d'effarouchement ou des techniques de soft start (augmentation graduelle du bruit) permettant aux animaux de s'écarter de la zone des travaux.
 - Poste électrique en mer : les impacts acoustiques des travaux d'installation d'un poste en mer sont principalement liés à la pose des fondations par battage ou forage. Les niveaux sonores sont comparables à ceux générés par l'installation d'éoliennes posées avec les mêmes techniques. Plusieurs mesures de réductions peuvent être mises en place : surveillance active et passive avec arrêt de chantier, rideaux de bulles ou barrières antibruit, effarouchements, soft start (voir ci-dessus). On notera que des travaux de recherches sur de nouvelles techniques de réduction des niveaux sonores sont menés au niveau international.
 - Atterrage : L'impact du bruit des travaux à l'atterrage concerne principalement les oiseaux marins qui sont susceptibles d'être dérangés et ainsi de subir une possible perte d'habitat temporaire et localisée pour les espèces nicheuses fréquentant le site. Des adaptations du calendrier des travaux ou des mesures d'effarouchement peuvent être mises en œuvre pour éviter ou réduire les impacts sur l'avifaune, notamment nicheuse.
- L'impact potentiel de la **turbidité** est ponctuel et localisé. Si la turbidité naturelle du site est déjà importante (estuaires, zones soumises à de forts courants, aux tempêtes...), les espèces présentes y sont adaptées. Si cela s'avère pertinent, un suivi de la turbidité et un protocole travaux adapté peuvent être mis en place en phase travaux.
- Les impacts potentiels liés à une pollution accidentelle (fuite, déchets, etc.) sont maîtrisables et font l'objet de prescriptions particulières auprès des entreprises prestataires de RTE. Par exemple, lorsqu'une protection des câbles par recouvrement est nécessaire, des matériaux inertes sont utilisés (« rock-dumping » c'est-à-dire enrochement ou matelas béton). Des plans de prévention des risques sont prévus dans le cadre des travaux et des kits sont embarqués sur les navires de chantier.
- Les impacts liés à la remise en suspension de sédiments pollués sont maîtrisés grâce à des analyses de la qualité des sédiments réalisées en amont des travaux (protocole Directive Cadre sur l'Eau (DCE)). Les sites pollués sont en général concentrés autour des zones portuaires ou industrielles et rares au large.

4.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

Les impacts permanents potentiels sont liés au changement d'habitats, aux champs électriques et magnétiques, à la température, à l'effet récif et réserve :

- Les connaissances scientifiques sur les impacts potentiels des émissions **de champs électromagnétiques** de faibles amplitudes au voisinage des liaisons sous-marines continuent de progresser. L'étude bibliographique réalisée par l'Ifremer en 2019 sur l'impact des câbles électriques sous-marins conclut que, à ce jour, les études in situ n'ont pas mis en évidence d'impact significatif sur la faune benthique et halieutique. Les

câbles ne constituent pas une barrière au mouvement pour les espèces étudiées. Les mammifères marins ne présentent pas de sensibilité particulière aux champs magnétiques générés lors de l'exploitation d'un parc éolien et son raccordement. Le champ magnétique décroît rapidement avec la distance. IFREMER juge l'impact des champs électromagnétiques sur les organismes comme faible dans le cas de câbles ensouillés ou protégés par des structures externes. Le niveau d'incertitude scientifique étant évalué comme moyen, des études complémentaires sont en cours.¹⁰

- Pour les câbles électriques ensouillés, c'est-à-dire enfouis dans le sol, le passage du courant électrique dans le câble induit localement une **élévation de la température** du sédiment au voisinage des câbles. L'impact potentiel du changement de température est très localisé et jugé globalement négligeable par IFREMER. Néanmoins, comme il s'agit de pertes d'énergie, RTE cherche à les minimiser en phase de conception par un dimensionnement optimal des câbles, notamment en fonction de la conductivité thermique du substrat.
- Les câbles non ensouillés doivent être protégés. Il est généralement mis en œuvre des matelas béton ou des enrochements qui peuvent modifier la nature du substrat en présence et entraîner une perte d'habitats pour les espèces inféodées au substrat d'origine. L'ajout de substrats durs dans le milieu entraîne en revanche un effet récif et parfois un effet réserve si des restrictions d'usage y sont appliquées. En effet, comme tout objet immergé pendant suffisamment longtemps, les protections externes des câbles constituent des récifs artificiels sur lesquels peuvent s'installer des organismes (anémones de mer, moules...). Par la suite certains poissons apparaissent plus abondants à proximité du câble, attirés par un habitat plus complexe que les fonds meubles, où ils peuvent se protéger, et une ressource alimentaire plus abondante. L'impact est potentiellement positif mais reste limité, notamment en raison d'une étendue spatiale faible.
- Le poste électrique en mer sera constitué d'une partie immergée qui sera susceptible de générer un effet récif (cf. § précédent), mais également d'une partie émergée, la plateforme elle-même. Celle-ci sera susceptible de créer un effet d'attraction ou à l'inverse répulsif pour une partie de l'avifaune et des chiroptères. Certaines espèces pourraient l'utiliser comme reposoir, voire pour la nidification. Le recul sur ce type d'impact est limité et nécessitera des suivis ad hoc. Une attention particulière devra être portée sur les conditions d'éclairage de la plateforme la nuit.
- Une restriction d'usage, et notamment de la pêche sera nécessaire pour raisons de sécurité dans un périmètre à définir autour du poste en mer. Pour illustration, autour du poste du parc éolien de Saint-Nazaire (premier de ce type en France), l'interdiction d'accès est édictée dans un rayon de 200 m. Cette restriction d'accès créera un effet réserve de fait, dont l'intensité sera fonction de la surface concernée.

Le raccordement terrestre

Les installations terrestres d'un raccordement en courant continu d'un parc éolien en mer nécessitent l'aménagement des ouvrages suivants :

- La chambre d'atterrage reliant la liaison sous-marine à la liaison souterraine ;
- La liaison souterraine en courant continu ;
- La station de conversion ;
- La liaison en courant alternatif entre la station de conversion et le poste électrique ;
- Le poste électrique raccordé au réseau de transport d'électricité ;
- Tout au long de l'élaboration des projets, RTE a pour objectif de minimiser l'ensemble des impacts de l'ouvrage sur l'environnement, pendant les travaux et ensuite pendant l'exploitation de l'ouvrage. Cette démarche permet de faire évoluer le projet en concertation avec les acteurs concernés et de l'améliorer au fur et à mesure de l'avancement des études environnementales et de la concertation avec les parties prenantes locales (agriculteurs, citoyens, élus). Le choix du tracé et de l'emplacement des ouvrages vise à limiter au maximum les impacts sur l'environnement, que ce soient les habitats, les espèces en présence ou les activités humaines comme l'agriculture ou le tourisme. Des mesures d'évitement, de réduction, voire de compensation (séquence « ERC ») sont ensuite mises en place.

¹⁰ Etude CEM Fish, voir fiche 46 – Travaux de recherche en cours visant à améliorer la connaissance des impacts environnementaux de l'éolien en mer et du raccordement

5. Les liaisons souterraines terrestres

5.1 Les impacts potentiels au cours des travaux

Pendant la phase chantier, il faut prévoir une emprise pour installer la liaison souterraine incluant les zones de circulation des engins, la tranchée dans laquelle sera installée la liaison et des zones de dépôts de terre. Cela peut engendrer des impacts temporaires comme la modification des espaces traversés ou un dérangement temporaire des secteurs alentours.

Concernant le milieu physique, la circulation, le stationnement, l'utilisation et l'entretien des engins de chantier peuvent également entraîner des risques de pollution du réseau hydrographique et du sol, par déversement accidentel d'huiles, de solvants et de carburants. Des mesures d'évitement peuvent être mises en place (zone étanche pour effectuer le plein des engins, tri et entreposage des déchets dans des contenants adaptés...) ainsi que des mesures de réduction (kits anti pollution, ...).

Concernant le milieu naturel et la biodiversité, la phase chantier peut être à l'origine d'impacts potentiels temporaires sur la faune et la flore. Il s'agit notamment du bruit ou des dégradations de certains habitats par piétinements ou tassements. Afin de connaître les espèces animales et végétales présentes sur le territoire du projet, RTE travaille avec des spécialistes qui étudient et parcourent la zone pour y localiser les espèces animales et végétales et leurs périodes de présence. Ces connaissances permettent d'adapter le projet pour en limiter les impacts.

Des mesures d'évitement spatial ou technique (passage en sous-œuvre) peuvent être mises en place, tout comme des mesures de réduction en intervenant en dehors des périodes sensibles pour certaines espèces.

Concernant le milieu humain, le chantier entraîne majoritairement des impacts temporaires (bruits, poussières, trafic). La zone est ensuite remise en état.

Le creusement de la tranchée peut le cas échéant impacter les cultures existantes sur l'emprise du chantier. Les opérations pour les travaux (acheminement du matériel, réalisation de la tranchée, livraison des tourets de câbles, etc.), peuvent entraîner des dommages aux cultures et aux sols. Des mesures de réduction sont alors proposées telles que la recherche d'accès provoquant le moins de dégâts en accord avec les propriétaires des parcelles concernées, l'utilisation de pistes provisoires, d'engins adaptés pour éviter les ornières sur les sols sensibles des parcelles agricoles... De façon générale, le sol est remis en état pour retrouver ses caractéristiques d'origine.

À l'occupation d'une voie et/ou d'un trottoir par le chantier, s'ajoute le va-et-vient des camions transportant les matériaux divers pour réaliser le chantier. La circulation est donc temporairement perturbée. Des mesures de réduction peuvent être alors mises en œuvre telles que la régulation du trafic routier à proximité du chantier.

L'impact sur le paysage est dû aux engins de chantier et aux infrastructures de travaux.

Des découvertes archéologiques sont possibles. Le service régional de l'archéologique est consulté et peut prescrire des fouilles préventives avant le lancement du chantier.

5.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

Concernant les impacts permanents lors de la phase d'exploitation, ils sont liés à la présence de l'ouvrage qui implique une incompatibilité avec toute plantation à racines profondes (arbres) au-dessus de la liaison. À l'exception de ce cas de figure, l'installation d'une liaison souterraine est compatible avec les activités agricoles.

De même, une fois les liaisons électriques mises en place, aucune visite technique de l'ouvrage ne génère de perturbation sur la voirie. Les liaisons souterraines étant invisibles, elles n'ont pas non plus d'impact paysager une fois les travaux terminés.

Les liaisons à courant continu génèrent un champ magnétique statique de faible valeur, de l'ordre de 100 à 1000 fois plus faible que la limite recommandée pour l'exposition du public (40 000 μ T). Par ailleurs, la valeur du champ magnétique terrestre (environ 50 μ T au niveau de la France) fait que le champ généré par les câbles à courant continu n'est plus mesurable à quelques mètres du câble.

6. Le poste électrique terrestre de raccordement

Le poste électrique (ou la station de conversion) est un ouvrage occupant de manière permanente le territoire. Le choix de l'emplacement est fait de manière à limiter l'impact de l'ouvrage sur les milieux naturels et le paysage.

C'est pourquoi, il est recherché en priorité des emplacements où le terrain :

- Est plat (pour limiter les mouvements de terre et le terrassement);
- N'est pas situé sur un point haut (pour limiter sa visibilité et favoriser l'insertion paysagère);
- Est situé à l'écart de sites paysagers ou patrimoniaux reconnus;
- N'est pas situé sur une zone humide (si ce cela est impossible, des mesures de compensation sont alors établies selon les règles en vigueur) et hors zone inondable;
- Est éloigné des zones de captages en eau potable.

6.1 Les impacts potentiels au cours des travaux

Concernant le milieu physique, tout comme pour les liaisons souterraines, la circulation, le stationnement, l'utilisation et l'entretien des engins de chantier peuvent entraîner des risques de pollution du réseau hydrographique et du sol, par déversement accidentel d'huiles, de solvants et de carburants. Le même type de mesures que pour les liaisons souterraines peut être pris.

Concernant le milieu naturel et la biodiversité, Les impacts potentiels sont principalement liés au bruit généré par le chantier pouvant perturber la faune et la flore ou la destruction d'habitats par exemple en déboisant des zones forestières. Des spécialistes étudient les cycles écologiques des espèces animales ou végétales concernées et le calendrier des travaux est adapté en fonction. Les habitats d'espèces proches des emprises sont mis en défens.

Concernant le milieu humain, le terrassement nécessaire pour l'installation du poste peut impacter les cultures existantes sur l'emprise du chantier. Les opérations du chantier peuvent entraîner des dommages aux cultures et aux sols. Des mesures de réduction sont alors proposées telles que la recherche d'accès provoquant le moins de dégâts en accord avec les propriétaires des parcelles concernées.

L'impact sur le paysage est dû aux engins de chantier et aux infrastructures nécessaires pour les travaux.

Des découvertes archéologiques sont possibles. Le service régional de l'archéologique est consulté et peut prescrire des fouilles préventives avant le lancement du chantier.

6.2 Les impacts potentiels au cours de la phase d'exploitation

En période d'exploitation, les appareils du poste électrique constituent le principal risque de pollution du fait de l'huile qu'ils contiennent. Malgré le confinement de l'huile dans les appareils, certains fonctionnements en mode dégradé peuvent néanmoins conduire à une pollution accidentelle. RTE met en place des fosses de rétention étanches sous les transformateurs permettant de récupérer de grandes quantités d'huile en cas de fuite accidentelle afin d'éviter tout risque de pollution du sol et des eaux. En cas d'incident, l'huile est évacuée par une entreprise spécialisée vers un centre de traitement agréé.

En phase d'exploitation, un poste électrique ne génère pas d'incidences sur la faune. La végétation est entretenue régulièrement, le plus souvent possible sans utiliser de produits phytosanitaires. Si les mesures d'évitement et de réduction mises en œuvre ne permettent pas d'amoinrir suffisamment les impacts, des mesures de compensation sont réalisées à proximité de l'ouvrage pour compenser les destructions d'habitats. L'efficacité de ces mesures est suivie pendant des dizaines d'années.

Par ailleurs, l'implantation d'un poste électrique modifie de fait la nature de l'occupation du sol. RTE cherchera au maximum à limiter l'emprise du poste électrique afin de réduire la consommation de terres agricoles.

Il est aussi susceptible de marquer un paysage naturel du fait des dimensions de sa plateforme et de la hauteur de ses installations. Des aménagements paysagers peuvent être proposés: plantation périphérique d'arbres, choix des essences s'inspirant de la végétation locale.

Un poste électrique peut être générateur de bruit provenant du ou des transformateurs et de leurs organes de réfrigération. RTE fait systématiquement réaliser en amont des travaux une étude acoustique permettant de s'assurer que le poste aura une faible émergence sonore et inférieure aux seuils réglementaires soit 5 dB(A) de jour et 3 dB(A) la nuit. Des solutions techniques peuvent être mises en œuvre: écran ou mur pare-son ou enceinte d'insonorisation.

Enfin, les valeurs de champs électrique et magnétique émises par les installations électriques d'un poste ou d'une station de conversion respectent les valeurs réglementaires à l'extérieur de l'enceinte du poste.

