



Rendre l'énergie bleue plus verte: identifier et gérer les risques et opportunités de l'énergie renouvelable offshore pour la biodiversité

Par Dan Wilhelmsson *et al.*



Climate &
Renewables



Sida

La dénomination des entités géographiques citées dans ce livre, ainsi que la présentation du matériel, ne représente en aucun cas une expression d'opinion de la part de l'UICN, E.ON ou SIDA concernant le statut légal des pays, territoires, régions, et de leurs autorités, ou concernant la délimitation de leurs frontières. Les points de vue exprimés dans cette publication ne reflètent pas nécessairement ceux de l'UICN, E.ON ou SIDA. Cette publication a été financièrement soutenue par E.ON et SIDA. Les affirmations et conclusions présentées ne sont pas issues d'un consensus, mais reflètent plutôt le point de vue médian des auteurs.

Publié par : UICN, Gland, Suisse. Droits d'auteur: © 2012 Union Internationale pour la Conservation de la Nature

La copie de cette publication dans un but pédagogique ou à des fins non-commerciales est autorisée, sans obtention nécessaire d'un accord écrit du détenteur des droits d'auteur et à condition que la référence soit citée en bonne et due forme. La copie de cette publication dans un but de revente ou à d'autres fins commerciales est interdite sans l'obtention au préalable d'un accord écrit du détenteur des droits d'auteur.

Référence : Wilhelmsson, D., Malm, T., Thompson, R., Tchou, J., Sarantakos, G., McCormick, N., Luitjens, S., Gullström, M., Patterson Edwards, J.K., Amir, O. and Dubi, A. (eds.) (2012). Rendre l'énergie bleue plus verte: identifier et gérer les risques et opportunités de l'énergie renouvelable offshore pour la biodiversité. Gland, Suisse: UICN. 39pp.

ISBN: 978-2-8317-1579-7

Version française: Jacqueline d'Huart (traduction), Meryll Martin et Yann Triponez (adaptation)

Design et arrangement: James Oliver et Yann Triponez, UICN

Impression: BSR Imprimeurs SA, Gland, Suisse

Couverture: Petites photos: Haut: Albatros sur l'Océan Pacifique © Imène Meliane/UICN. Centre: Bateau de service au parc éolien de Nysted (Danemark) © Gunnar Britse. Bas: Tortue caouanne © Mito Paz. Photo principale: Parc éolien offshore © E.ON Climate & Renewables.

Dos de couverture: Bateau de pêche quittant le parc éolien de Lillgrund (Suède); photo: © Matthias Rust.

Disponible auprès de:

UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature)

Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Suisse.

Telephone +41 22 999 0217; Fax +41 22 999 0025

Courriel: marine@iucn.org

Site internet: <http://www.iucn.org/marine>

Rendre l'énergie bleue plus verte: identifier et gérer les risques et opportunités de l'énergie renouvelable offshore pour la biodiversité

Par Dan Wilhelmsson *et al.*

Auteurs:

Dan Wilhelmsson^{1,2}, Torleif Malm³, Richard Thompson⁴, Jeremy Tchou⁵, Georgios Sarantakos¹, Nadine McCormick¹, Sabrina Luitjens⁶, Martin Gullström², J.K.Patterson Edwards⁷, Omar Amir⁸, Alfonse Dubi⁸

1. IUCN, Programme global marin et polaire, Suisse

2. Departement de zoologie, Université de Stockholm, Suède

3. Centre de recherche marine d'Umeå, Université d'Umeå, Suède

4. Institut de recherche péninsulaire pour l'énergie renouvelable marine, Université de Plymouth, Royaume-Uni

5. Département d'ingénierie civile et environnementale, Université de Stanford, Etats-Unis

6. E.ON Climate and Renewables, Düsseldorf, Allemagne

7. Institut de recherche marine Suganthi Devadason, Inde

8. Institut pour la science marine, Université de Dar es Salaam, Tanzanie

A propos des organisations

UICN

L'UICN, Union Internationale pour la Conservation de la Nature, contribue à l'échelle mondiale à trouver des solutions pragmatiques aux défis les plus importants concernant le développement et l'environnement.

Le travail de l'UICN concerne la biodiversité, les changements climatiques, l'énergie, le bien-être des communautés locales, et vise à rendre l'économie mondiale plus verte en supportant la recherche scientifique, en encadrant des projets sur le terrain à travers le monde, et en réunissant gouvernements, ONG, Nations Unies et compagnies pour les aider à développer leurs politiques, lois et codes de bonnes pratiques.

L'UICN est la plus importante et ancienne organisation environnementale globale, avec plus de 1'000 gouvernements et ONG membres, ainsi qu'environ 11'000 experts volontaires répartis dans 160 pays différents. Le travail de l'UICN est assuré par plus de 1'000 employés dans 60 bureaux, et par des centaines de partenaires des secteurs publics, privés et ONG dans le monde entier.

<http://www.iucn.org>

E.ON Climate and Renewables

Avec un chiffre d'affaire de 82mrd d'Euros et environ 88'000 employés, E.ON est une des plus grandes compagnies énergétiques financée par des investisseurs privés. Au sein du Groupe E.ON, E.ON "Climate & Renewables" est la division responsable du portfolio d'affaires concernant les énergies renouvelables et l'approvisionnement en carbone à l'échelle mondiale. E.ON a investi 8mrd d'Euros entre 2007-2011 dans la production d'énergie renouvelable et dans des projets de réduction des émissions de carbone afin d'étendre significativement sa part de marché. Pour plus d'informations: <http://www.eon.com/renewables>

Swedish International Development Cooperation Agency

La Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA) est l'agence Suédoise de coopération internationale au développement. Son but est de contribuer à faire en sorte que les personnes défavorisées améliorent leur cadre de vie. La SIDA inclut le développement écologiquement durable comme un des points clés des ses activités dans les régions ou pays en cours de développement.

Table des matières

Tableaux, figures et encadrés.....	iv
Remerciements.....	v
Résumé général.....	vii

1 Introduction

1.1 Antécédents.....	1
1.2 Objectif de ce document d'orientation.....	1
1.3 Public cible.....	2
1.4 Comment utiliser ce document.....	2
1.5 Glossaire des termes et acronymes clés.....	3

2 Vue d'ensemble de l'énergie éolienne offshore

2.1 Tendances.....	5
2.2 Leviers politiques.....	6
2.3 Etat de la recherche.....	7

3 Evaluation des impacts

3.1 Evaluer les impacts dans un contexte global.....	9
3.2 Outils d'évaluation environnementale.....	9
3.3 Contexte légal.....	10
3.3.1 Législation européenne.....	10
3.3.2 Exigences de la Banque Mondiale.....	11

3.3.3 Orientations des gouvernements et de l'industrie.....	11
---	----

4 Impacts des parcs d'éoliennes sur l'environnement marin

4.1 Tableau résumé des impacts.....	13
4.2 Gérer les impacts tout au long du cycle de vie du projet.....	16
4.2.1 Planification.....	16
4.2.2 Construction.....	16
4.2.3 Fonctionnement et maintenance.....	19
4.2.4 Démantèlement.....	23
4.3 Impacts résiduels.....	25
4.4 Impacts cumulatifs et synergies.....	25
4.5 Interactions avec d'autres utilisateurs de la mer.....	26

5 Conclusions et recommandations

5.1 Questions de stratégie et de gouvernance.....	27
5.2 Sujets d'incertitude et points à aborder.....	27
5.3 Améliorer l'utilisation des évaluations d'impacts.....	27
5.4 Dernières conclusions.....	28

6 Ressources supplémentaires..... 29

Annexes: voir document original (en anglais uniquement)

Tableaux, figures et encadrés

TABLEAUX

Tableau 1:	Top 5 des pays possédant la plus grande capacité éolienne (Agence internationale de l'énergie, 2009).....	5
Tableau 2:	Parcs éoliens opérationnels dans le monde (adapté de EWEA, 2009).....	6
Tableau 3:	Problèmes environnementaux majeurs de l'énergie éolienne offshore	14

FIGURES

Figure 1:	Hiérarchie de la mitigation.....	9
Figure 2:	Principales différences entre EES et EIE (adapté d'Eales <i>et al.</i> , 2003).....	10
Figure 3:	Cycle de vie d'un projet	16
Figure 4:	Options de fondations offshore.....	17
Figure 5:	Un résumé des étapes d'une EES (basée sur la Directive 2001/42/CE).....	25

ENCADRES

Encadré 1:	Types de fondation.....	17
Encadré 2:	Aquaculture	26
Encadré 3:	Synergies des parcs d'éoliennes avec l'industrie houlomotrice	26

Remerciements

Le Programme Marin de l’UICN et les auteurs tiennent à remercier sincèrement les chercheurs suivants pour leurs apports et commentaires importants à l’Annexe 1 (Research on impacts; Review of the impacts of offshore wind energy on the marine environment) ainsi qu’à des versions précédentes des chapitres 1-6:

Ph.L Mathias Andersson, Université de Stockholm, Suède (impact sonore sur les poissons).

Dr Andrew Gill, Université de Cranfield, Royaume-Uni.

Dr Stephen Jay, Université de Sheffield Hallam, Royaume-Uni.

Ph.L Åsa Romson, Université de Stockholm, Suède (questions légales et réglementaires).

Dr Henrik Skov, DHI Water & Environment, Danemark (mammifères marins et oiseaux, y compris des contributions au texte).

Nous sommes également reconnaissants aux participants du “meeting des intervenants” qui a eu lieu au secrétariat général de l’UICN à Gland, Suisse, en octobre 2009, pour leur enthousiasme à fournir de précieux apports à la préparation de ce document, parmi lesquels des commentaires écrits de Glória Rodrigues (EWEA) et Hans-Ulrich Rösner (WWF Allemagne).

Nous remercions Matthias Hansch, James Oliver, Carl Gustaf Lundin, Frank Plümacher and Francis Vorhies pour leur appui continu tout au long du projet, ainsi que pour le travail d’édition assuré par Louise Johnson.

Nous remercions enfin E.ON Climate and Renewables, Düsseldorf, Allemagne, et SIDA, l’Agence Suédoise pour la Coopération Internationale au Développement pour leur soutien financier.

Résumé général

Dans le développement relativement rapide des énergies renouvelables offshore, la question de la diversité marine n'est souvent prise en compte que partiellement. L'UICN a entrepris un travail conjoint avec la société multinationale de l'énergie E.ON et avec l'Agence Internationale suédoise de coopération au développement (SIDA) afin d'améliorer les performances environnementales des projets offshore d'énergie renouvelable en préparant des orientations pour favoriser les bonnes pratiques et pour y intégrer des études de la biodiversité.

Le projet Greening Blue Energy (Rendre l'énergie bleue plus « verte ») vise à faciliter la tenue de discussions équilibrées et scientifiquement étayées sur les impacts qu'ont, sur l'environnement marin, les aménagements des énergies renouvelables offshore.

Ces orientations offrent une synthèse de ce qui est actuellement connu des impacts potentiels de l'énergie éolienne offshore sur la biodiversité de l'environnement marin. Elles se fondent sur des preuves scientifiques de même que sur des expériences de développement d'énergie renouvelable offshore et d'autres secteurs pertinents. La base de ce document est une compilation de plus de 1000 rapports et documents, dont 400 au moins sont des articles scientifiques à comité de lecture, et dont les résultats sont présentés d'une manière accessible et équilibrée. Ces orientations se veulent faciles d'accès, elles sont structurées de façon à fournir plus de détails à ceux qui en ont besoin et à encourager, en matière de durabilité, les améliorations de l'industrie des énergies renouvelables offshore. De manière générale, ces orientations ont pour vocation de promouvoir la prise en compte d'études d'impacts scientifiquement avérées. Elles sont donc adéquates pour conduire, mesurer et analyser les Évaluations environnementales stratégiques (EES) et les Études d'impact environnemental (EIE), en se basant sur des normes nationales et internationales.

Les impacts potentiels du développement de l'éolien offshore sur l'environnement marin incluent les effets perturbateurs du bruit, des champs électromagnétiques, des modifications des conditions hydrodynamiques et de la qualité de l'eau. Cela inclut également l'altération de la structure des habitats sur les communautés benthiques, les poissons, les mammifères et les oiseaux. À ce jour, c'est pour la phase de construction que les preuves d'impacts négatifs sur l'environnement marin situé sous la surface sont les plus fortes. Cependant, les perturbations locales à long terme sur l'environnement marin, au cours de la phase opérationnelle, ne sauraient être écartées ; il se pourrait que certaines espèces d'oiseaux cherchent à éviter les zones

où sont implantés les parcs éoliens. Diverses mesures d'atténuation pourraient être mises en place pour réduire les risques pour la biodiversité locale, comme changer le timing, l'emplacement et la conception du système éolien et encore, recourir à des moyens permettant de disperser temporairement les espèces affectées.

Cependant, si le développement éolien offshore est bien planifié et coordonné, l'environnement marin local subaquatique pourrait même tirer avantage des parcs éoliens de diverses manières. La pêche au chalut est, tant pour les poissons que pour les invertébrés, une des plus graves menaces pour l'environnement marin, et elle est limitée, voire interdite, à l'intérieur des parcs éoliens. Qui plus est, les fondations des éoliennes, y compris les roches qui sont souvent placées tout autour pour les protéger, pourraient jouer le rôle de récifs artificiels, permettant d'augmenter la biomasse d'un certain nombre d'espèces. Il a aussi été suggéré que les appareils énergétiques orientés vers la surface pourraient agir comme des Dispositifs de concentration de poissons (DCP).

Tout ceci montre qu'il faut évaluer les impacts environnementaux des projets de production d'énergie renouvelable offshore dans une approche globale. Étant donné que l'industrie éolienne offshore continue de s'étendre dans le monde entier et qu'elle devient plus mature, les industries et les gouvernements ne pourront que bénéficier de l'acquisition de nouvelles connaissances et expériences.

Un suivi continu sera crucial pour analyser dans quelle mesure les premières stratégies d'atténuation auront réussi à éviter ou à réduire les impacts sur l'environnement marin. Les futures décisions pourront intégrer les découvertes les plus récentes et ainsi atténuer de nouvelles menaces. En faisant des études d'impacts environnementaux rigoureuses, tout en menant une gestion environnementale systématique, l'industrie continuera à apprendre par l'approche PDCA – Plan, Do, Check, Act (Planifier, Déployer, Contrôler, Améliorer) et apportera alors une amélioration soutenue à ses pratiques et procédures. Grâce à une planification spatiale du milieu marin, les impacts cumulatifs et synergiques pourraient être mieux gérés, et il serait possible de prendre en compte aussi bien les impacts que les opportunités pour tous les utilisateurs de la mer.

Les décisions faites à ce stade d'évolution du secteur de l'éolien offshore, en matière de planification et de développement, établiront un précédent pour de futurs aménagements, tant en Europe qu'ailleurs. Il est donc impératif que les lacunes en matière de recherches et de connaissances soient traitées d'urgence.

1 Introduction

1.1 Antécédents

La demande croissante d'énergie, et le fait de reconnaître les effets des changements climatiques qui résultent de l'utilisation de combustibles fossiles, exigent une modification de la répartition des sources d'énergie.

Il est attendu que les capacités de production d'énergie éolienne s'accroissent considérablement, à un moment où le monde fait des efforts sans précédents pour passer vers une économie moins consommatrice de carbone. Ce n'est qu'aujourd'hui que l'on réalise vraiment qu'il est possible de tirer une énergie renouvelable de l'environnement éolien offshore. L'ingénierie actuelle permet désormais d'envisager d'utiliser des concepts terrestres dans des environnements marins, un territoire énergétique jadis considéré comme le domaine exclusif du pétrole et du gaz offshore. Cependant, tout type de production d'énergie aura quelque impact sur l'environnement local et global. Alors que nous réduisons les impacts atmosphériques de nos sources d'énergie, nous devons éviter de remplacer un ensemble d'impacts importants par un autre.

Tout en reconnaissant que la recherche dans le domaine des impacts de l'énergie renouvelable offshore n'en est encore qu'à ses balbutiements, il est généralement estimé que les risques d'impacts

Parc éolien offshore de Robin Rigg, Royaume-Uni. Photo: E.ON Climate & Renewables



sur l'environnement marin pourraient ne pas être négligeables et qu'il faut donc les envisager sérieusement.

Les parcs d'éoliennes peuvent aussi être bénéfiques de plusieurs façons pour l'environnement marin, grâce notamment à l'exclusion du chalutage et à la création d'habitats solides au fond de l'eau. Cela pourrait profiter aussi bien à la pêche locale qu'à la conservation de certaines espèces. L'industrie de l'énergie renouvelable évolue rapidement alors que l'appréhension des conséquences environnementales potentielles arrive plus tardivement. Par conséquent, le débat sur les impacts de l'éolien pourrait prendre de l'avance par rapport à la réalité des faits. Il est donc primordial d'utiliser des preuves établies scientifiquement pour aider à orienter la prévention ou l'atténuation des impacts sur le milieu marin

voire, quand c'est possible, mettre en valeur des habitats pour s'assurer que cette source d'énergie renouvelable est aussi utilisée de façon durable. Alors que les connaissances et l'expertise dans le domaine de l'éolien offshore vont s'accroître avec les nouveaux développements, la compréhension des impacts, tant négatifs que positifs, va s'améliorer. Entre temps, il est urgent de s'appuyer sur les connaissances actuelles, et ce document a pour vocation d'y pourvoir.

1.2 Objectif de ce document d'orientation

L'UICN a entrepris un projet conjoint avec la société multinationale de l'énergie E.ON et avec l'Agence internationale suédoise de coopération au développement (SIDA) afin d'améliorer les performances environnementales des projets d'énergie renouvelable offshore en préparant des orientations pour favoriser la réflexion sur les meilleures pratiques en matière de biodiversité. Nous pensons aussi que ces orientations pourront servir à informer les politiques et aider la mise en place de bonnes pratiques au sein de la communauté de la conservation et des gouvernements. Elles sont particulièrement pertinentes pour les pays en développement où les capacités sont réduites mais où les infrastructures pour les énergies renouvelables sont de plus en plus encouragées.

Le projet Greening Blue Energy vise à faciliter des discussions équilibrées et scientifiquement étayées sur

les impacts liés à l'évolution du secteur des énergies renouvelables offshore sur l'environnement marin.

Ces orientations offrent une synthèse du savoir actuellement disponible concernant les impacts potentiels de l'énergie éolienne offshore sur l'environnement marin. Elles sont à l'intention des développeurs de projets et des opérateurs de parcs éoliens offshore et, elles font appel à un modèle familier à ceux qui réfléchissent à des outils d'évaluation d'impacts. La base de ce document est une compilation de plus de 1000 rapports et documents, dont 400 au moins sont des articles scientifiques publiés dans des revues à comité de lecture. Il veut encourager la réflexion sur les impacts mis à jour par les recherches scien-

tifiques les plus récentes afin de conduire, mesurer et analyser les Évaluations environnementales stratégiques (EES) et les Études d'impact environnemental (EIE), en se basant sur des normes nationales et internationales pertinentes.

Faciles d'accès, les résumés des risques environnementaux, mais aussi des opportunités, permettent des discussions et des réflexions équilibrées et scientifiquement étayées sur les impacts qu'ont les installations d'énergie renouvelable offshore sur l'environnement marin. Ce document se concentre sur l'éolien marin, secteur qui rassemble le plus d'informations et de retours sur expériences, mais les leçons peuvent aussi être adaptées à d'autres

secteurs offshore de l'énergie renouvelable, tels que les centrales marémotrices et houlomotrices (abordées dans l'Annexe 3 du document complet, en anglais).

1.3 Public cible

Ce document est d'abord destiné aux **développeurs** et aux opérateurs de parcs éoliens offshore afin d'améliorer cette industrie dans son ensemble. Mais nous savons que d'autres parties prenantes pourraient aussi être intéressées par les résultats donnés ici, et tout d'abord les **autorités** impliquées dans des procédures d'évaluation et de permis environnementaux.

Nous espérons aussi que ce document d'orientation sera utile pour des pays qui n'ont pas encore envisagé de politique d'énergie renouvelable offshore, et qu'ils pourront ainsi être conscients des problèmes environnementaux potentiels afin de les anticiper.

Les autres groupes qui pourraient trouver ces orientations intéressantes incluent des **organisations non gouvernementales** et des **groupes de défense**, ainsi que d'autres utilisateurs des paysages marins.

1.4 Comment utiliser ce document

La partie principale du document d'orientation est écrite sous une forme accessible et facile à comprendre. La Section 2 donne un aperçu général du secteur de l'énergie éolienne offshore.

Parc éolien offshore de Lillgrund, Suède.

Photo: Jerker Lokrantz



La Section 3 informe le lecteur sur l'état actuel du développement de l'éolien offshore, sur son cadre réglementaire actuel et les orientations existantes, et le sensibilise à la prise en considération des autres utilisateurs de la mer. Cette section résume aussi des aspects généraux du développement ainsi que l'état actuel de la planification spatiale et de la recherche. La Section 4 présente les impacts potentiels sur l'environnement marin qui sont régulièrement associés à la construction, au fonctionnement et à la mise hors-service des parcs éoliens offshore. La Section 5 suggère des mesures d'atténuation et présente une solution pour aborder certains domaines où subsistent des problèmes d'incertitude et de gouvernance.

Pour ceux qu'intéresseraient plus de détails, l'Annexe 1 du document complet (en anglais) présente une synthèse des dernières recherches concernant les impacts sur l'environnement marin. La compréhension actuelle des impacts potentiels sur des récepteurs et l'environnement concerné est mise en évidence, en ce qui concerne l'étendue des impacts. L'Annexe 2 approfondit le contexte législatif et donne des liens vers de plus amples informations. Enfin, l'Annexe 3 donne un bref aperçu du développement technologique et des impacts possibles des énergies houlomotrice, marémotrice et hydrolienne sur l'environnement marin.

Le document passe en revue l'état des connaissances et des expertises sur l'environnement marin à la fin décembre 2009. Il est imprimé en un nombre limité d'exemplaires. La publication est censée être

consultée en ligne, ce qui permettra au document de rester « live » au fur et à mesure que des informations importantes seront disponibles au sujet de cette industrie en évolution rapide.

Il souhaite présenter un cadre générique pour les problèmes clés à aborder et il est illustré d'exemples spécifiques lorsque cela peut s'avérer pertinent.

Ce document veut fournir des orientations

génériques quant aux impacts environnementaux des parcs éoliens offshore. Mais, ce genre de questions ne peut être traité sans tenir compte des valeurs économiques, techniques, politiques, légales et sociales qui y sont liées. **Dans ce domaine, ce document ne peut offrir que des orientations initiales et il ne peut donc remplacer des évaluations d'impacts spécifiques sur le terrain ni l'engagement effectif des parties prenantes.**

1.5 Glossaire des termes et acronymes clés

Analyse du cycle de vie	Analyse de l'impact environnemental global d'une activité économique particulière.
Aspect environnemental	Élément des activités, des produits ou des services d'une organisation qui peut interagir avec l'environnement.
Assemblage	Un sous-ensemble de population d'espèces résidant dans une certaine zone.
Benthos	Ensemble des organismes qui vivent à proximité des fonds marins, des niveaux les plus élevés aux fosses les plus profondes.
Biodiversité	Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.
Désaffectation	Un terme général pour un processus formel qui enlève à quelque chose son statut actif.
EES	Évaluation environnementale stratégique.
EIE	Étude d'impact environnemental.
Impact environnemental	Tout changement apporté à l'environnement, qu'il soit néfaste ou bénéfique, qui résulte totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'une organisation.
Mitigation (ou Atténuation)	Soulagement/diminution des impacts.
Parcs éoliens offshore	Parcs éoliens situés en mer, dans des eaux côtières peu profondes ou sur des bancs plus éloignés en mer.
Parcs éoliens terrestres	Parcs éoliens situés sur terre, que ce soit sur une plage ou à l'intérieur des terres.
Planification spatiale	Fait référence aux méthodes utilisées pour influencer la distribution des personnes et des activités dans l'espace à diverses échelles, y compris notamment la planification urbaine, la planification régionale et la planification environnementale.

2 Vue d'ensemble de l'énergie éolienne offshore

Ce chapitre donne un bref aperçu du secteur de l'énergie éolienne offshore et du statut actuel des recherches concernant les impacts des installations éoliennes offshore sur l'environnement marin.

2.1 Tendances

Selon le Conseil mondial de l'énergie éolienne, les capacités éoliennes totales installées dans le monde entier en 2009 représentaient 120'798 mégawatts (MW). Plus de 80 pays ont installé des éoliennes dans le monde. Les États-Unis ont récemment dépassé l'Allemagne pour la capacité totale installée. La capacité éolienne de la Chine prend un essor rapide et a dépassé celle de l'Inde (voir Tableau 1).

Les parcs éoliens offshore sont de plus en plus encouragés dans la mesure où les vents marins sont plus forts et plus soutenus que les vents terrestres. Le fait de placer des turbines en mer permet de construire de plus gros engins même si l'environnement marin est exigeant en ce qui concerne les transports, la logistique et les technologies de construction. De plus, des études montrent qu'il y a généralement moins d'opposition publique à l'exploitation éolienne offshore qu'au développement de capacités éoliennes sur terre, encore que ceci dépende de chaque localisation particulière. Jusqu'à présent, les

Pays	Etats-Unis	Allemagne	Espagne	Chine	Inde
Capacité	25'170 MW	23'903 MW	16'754 MW	12'210 MW	9'045 MW

Tableau 1: Top 5 des pays possédant la plus grande capacité éolienne (Agence internationale de l'énergie, 2009)

parcs éoliens marins ne représentent que 1,5% du total des capacités éoliennes installées en 2009, qui sont principalement situées en Europe (voir Tableau 2).

Aujourd'hui, les parcs éoliens marins ne fournissent que 0,3% de la demande totale d'électricité de l'Union européenne (UE). Pourtant, selon le rapport « Oceans of Opportunity » de l'Association européenne de l'énergie éolienne (EWEA), l'éolien marin pourrait fournir entre 12 et 16% de la demande totale d'électricité de l'UE d'ici 2030. Cela équivaut à plus de 25'000 turbines éoliennes, dans des parcs qui couvriraient quelques 20'000 km² du plateau continental européen. Une production d'énergie éolienne d'une telle ampleur permettrait d'éviter chaque année l'émission de 200 millions de tonnes de CO₂. Si l'Amérique du Nord ne possède encore aucun parc éolien en activité à l'heure actuelle, de grands projets sont prévus pour la côte est des États-Unis et sur le lac Ontario au Canada. La Chine et l'Inde pré-

parent aussi de vastes projets éoliens offshore. Les efforts pour combiner développement économique et durabilité environnementale poussent aussi certains pays d'Afrique de l'Est à manifester un intérêt croissant pour les énergies renouvelables offshore, se focalisant pour le moment sur l'énergie houlomotrice.

Les parcs éoliens existants comprennent généralement de 2 à 80 turbines, mais les parcs du futur pourraient en contenir des centaines ; par exemple, le projet London Array prévoit 341 turbines. La distance entre elles varie normalement entre 500 et 1000 mètres, et les parcs éoliens peuvent donc couvrir de nombreux kilomètres carrés. Actuellement, tous les parcs éoliens commerciaux utilisent des turbines qui sont installées directement sur le fond marin, mais on est en train de mettre au point des alternatives flottantes (voir Encadré 1, p.17 pour plus d'informations). Actuellement, la plupart des parcs éoliens sont implantés dans des eaux peu profondes,

Pays	Capacité totale (MW)	Nombre de parcs éoliens offshore	Nombre de turbines
Royaume-Uni	883	12	287
Danemark	639	9	305
Pays-Bas	247	4	130
Suède	164	5	75
Allemagne	42	4	9
Belgique	30	1	6
Irlande	25	1	7
Finlande	24	1	8
Norvège	2	1	1
Japon	1	1	2
TOTAL	2057	38	830

Tableau 2: Parcs éoliens opérationnels dans le monde (adapté de EWEA, 2009)

à l’intérieur des « limites des 20-20 », au maximum à 20 kilomètres de la côte et à une profondeur de 20 mètres. Au-delà de ces limites, les défis technologiques, matériels et humains augmentent considérablement en raison de l’environnement offshore plutôt difficile. Mais ces facteurs sont de mieux en mieux domptés. Par exemple, le parc offshore Alpha ventus est installé à 45 kilomètres des côtes, à une profondeur de 33 mètres. En Italie, au Japon et en

Norvège – des pays qui n’ont pas de larges plateaux continentaux – l’on développe des centrales électriques éoliennes flottantes destinées à être placées à des profondeurs allant de 50 à 400 mètres.

2.2 Leviers politiques

Les options en matière d’énergie renouvelable sont de plus en plus encouragées pour répondre aux

défis mondiaux du réchauffement climatique, à l’épuisement des ressources énergétiques locales, au coût croissant des combustibles et à la menace de perturbations dans les fournitures d’énergie. Plus de 75 pays du monde entier ont aujourd’hui des politiques en matière d’énergie renouvelable. Par exemple, l’Union européenne a une politique qui vise à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 pour cent, à porter la fourniture d’énergie renouvelable à 20 pour cent de la demande primaire et à augmenter l’efficacité énergétique de 20 pour cent d’ici 2020.

Un facteur critique pour que le développement de l’énergie éolienne soit un succès est qu’il obtienne un support adéquat des gouvernements, impliquant souvent des feed-in tariffs (tarifs de rachat), des sub-sides ou des réductions fiscales qui favorisent des formes d’énergie plus propres.

En réponse à ces tendances politiques et au besoin de diversifier leurs portefeuilles, un grand nombre de compagnies d’électricité cherchent à élargir l’apport d’énergie renouvelable.

Néanmoins, la Commission européenne (CE) a identifié des défis à vaincre pour pouvoir développer davantage le secteur éolien marin. Ces défis incluent:

- des faiblesses du cadre général ;
- des défis industriels et technologiques ;

- un manque de planification stratégique intégrée ;
- un manque de coordination transfrontalière.

Dans ses rapports, la CE note un manque de partage de l'information et des connaissances entre les autorités, qui pénalise la mise en application de la législation environnementale européenne, et les défis techniques que posent les goulots d'étranglement et l'équilibrage énergétique dans les réseaux électriques offshore.

2.3 Etat de la recherche

Bien qu'étant encore à ses débuts, l'énergie éolienne offshore est actuellement la technologie d'énergie renouvelable offshore la plus développée, comparée, par exemple, aux énergies houlomotrice et marémotrice, et les problèmes environnementaux qui lui sont liés sont donc mieux documentés.

Les recherches académiques sur les questions environnementales et écologiques liées au développement de l'éolien offshore sont principalement menées au Danemark, en Allemagne, au Royaume-Uni et en Suède, notamment dans des milieux saumâtres. Même si le Programme de monitoring danois et d'autres programmes comparables ont fait sensiblement progresser le statut général de cette recherche, la plupart des programmes de recherche n'ont été lancés que récemment, et nombre de contributions se limitent au développement

Parc éolien offshore de Scroby Sands, Royaume-Uni.

Photo: E.ON Climate & Renewables



de méthodes d'analyses. De plus, la majorité des études réalisées à ce jour se sont focalisées sur des systèmes biologiques monospécifiques. Il y a peu d'informations concernant les effets sur des écosystèmes entiers.

La possibilité d'extrapoler les données à partir des recherches portant sur des parcs éoliens terrestres est limitée. L'environnement marin diffère fondamentalement des milieux terrestres, non seulement par les types d'organismes susceptibles d'être affectés, mais aussi en raison de facteurs physiques (ex. dispersion des sons) et biologiques (ex. régulation des flux de nourriture et d'énergie et dispersion des jeunes). De plus, les parcs éoliens marins diffèrent

de toute autre industrie mécanique marine par leur échelle, par la superficie de leur couverture et par la combinaison particulière des facteurs de perturbation (comme les méthodes de construction, la forme, les matériaux et le bruit). Mais il est possible de trouver des informations, par exemple auprès du secteur du pétrole et du gaz, sur la nature des perturbations environnementales et des leçons en matière d'atténuation et de processus de restauration.

3 Evaluation des impacts

Cette section donne un aperçu des politiques, des concepts et des outils pertinents en matière d'évaluation des impacts.

3.1 Evaluer les impacts dans un contexte global

En explorant les impacts de la production d'énergie éolienne offshore, il est important de replacer les impacts locaux dans le contexte des impacts à plus grande échelle, voire mondiaux. Les changements climatiques représentent une menace croissante pour la biodiversité. L'énergie produite grâce au vent peut permettre d'éviter une quantité substantielle d'émissions de gaz à effet de serre et de combattre ainsi les changements climatiques.

De plus, grâce au développement de l'énergie éolienne, il serait possible d'éviter les polluants toxiques liés à l'utilisation des combustibles fossiles et d'éviter les impacts environnementaux locaux dus à de grosses installations hydroélectriques.

Ces avantages mondiaux et locaux doivent cependant être mis en balance avec les effets négatifs spécifiques que l'énergie éolienne offshore peut avoir sur la vie marine. Il est essentiel de réduire au minimum les effets néfastes de l'énergie éolienne offshore sur les habitats et les écosystèmes marins lors des procédures d'autorisation. D'après des études réalisées dans plusieurs pays, c'est un pro-

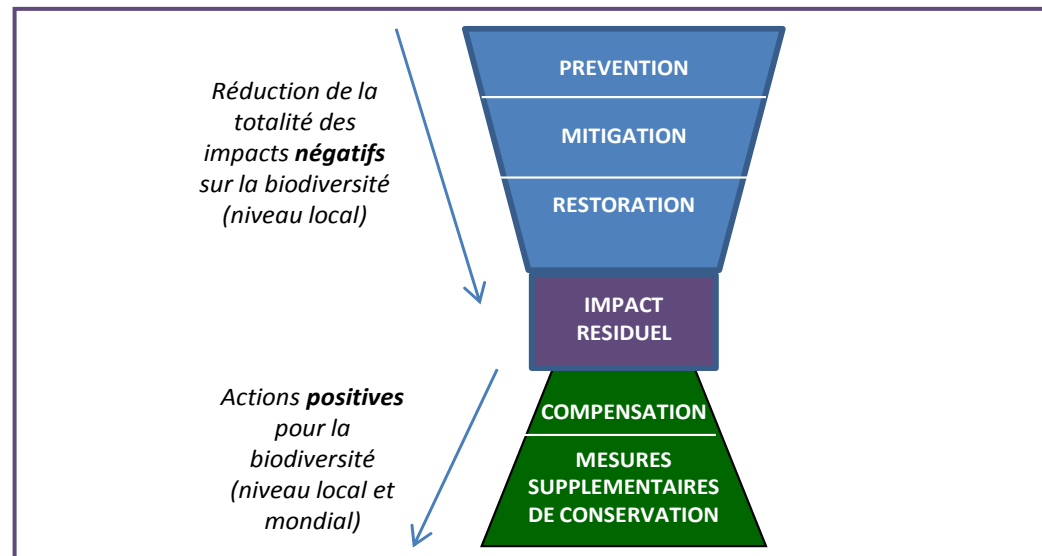


Figure 1: Hiérarchie de la mitigation

cessus vital pour que les parcs éoliens soient bien acceptés au niveau local.

Il est essentiel d'identifier et de réduire autant que possible l'ensemble des impacts négatifs sur l'environnement marin. L'atténuation des impacts peut se faire à plusieurs stades, basés sur ce que l'on pourrait appeler une «hiérarchie de la mitigation» (voir Figure 1), par exemple en évitant des sites sensibles, en atténuant certains impacts grâce à une conception judicieuse et en proposant des compensations pour des impacts résiduels ou encore des accords d'offsets (voir Section 4.3).

3.2 Outils d'évaluation environnementale

Les principaux outils qui servent à évaluer les impacts environnementaux des projets et des programmes sont:

- **Les Évaluations environnementales stratégiques (EES)** – un outil qui évalue les impacts environnementaux liés à des plans et à des programmes (y compris des projets multiples), entrepris principalement par des autorités gouvernementales. Elles s'accompagnent d'un Plan de gestion environnementale et exigent un suivi continu.

- **Les Études d'impact environnemental (EIE)** – utilisées pour des projets individuels par (a) un développeur, pour lui permettre, en se basant sur les impacts environnementaux, de prendre des décisions concernant le développement d'un projet, les plans d'atténuation ainsi que le suivi continu, et (b) des autorités, pour vérifier qu'un projet donné respecte la législation environnementale concernée.

La Figure 2 donne un résumé des principales différences et complémentarités entre EES et EIE. Pour plus d'informations sur des questions spécifiques, voir l'Annexe 2 du document complet.

3.3 Contexte légal

Pour aborder la gestion des impacts environnemen-

taux du développement de l'énergie éolienne offshore, un certain nombre de directives, de conventions, de normes et de traités internationaux ainsi que des réglementations et orientations industrielles nationales ont été développés. Quel que soit l'endroit, il peut toujours y avoir en sus une série de réglementations internationales, régionales et nationales qui sont applicables. Chaque développeur doit donc toujours demander des informations précises concernant le ou les pays où seront implantées les installations éoliennes.

3.3.1 Législation européenne

La législation de l'Union européenne (EU) en matière d'EIE décrit les conditions minimales qu'un État membre peut exiger d'un développeur durant tout le cycle de vie d'un projet. Toute l'information nécessaire est aussi déterminée par les lois nationales et par les conventions que le pays a signées.

L'UE dispose de plusieurs législations pertinentes concernant la conservation de la nature et la protection d'espèces et d'habitats spécifiques (ex. la Directive Habitats (92/43/CEE)) ainsi que les EIE (Directive 85/337/CEE) et les EES (Directive 2001/42/CE). Qui plus est, la mise en œuvre de la Directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » (Directive 2008/56/CE) est censée faciliter le processus d'EIE pour le développement de projets d'énergie éolienne et d'autres énergies renouvelables offshore.

L'Annexe 2 du document complet donne davantage d'informations.

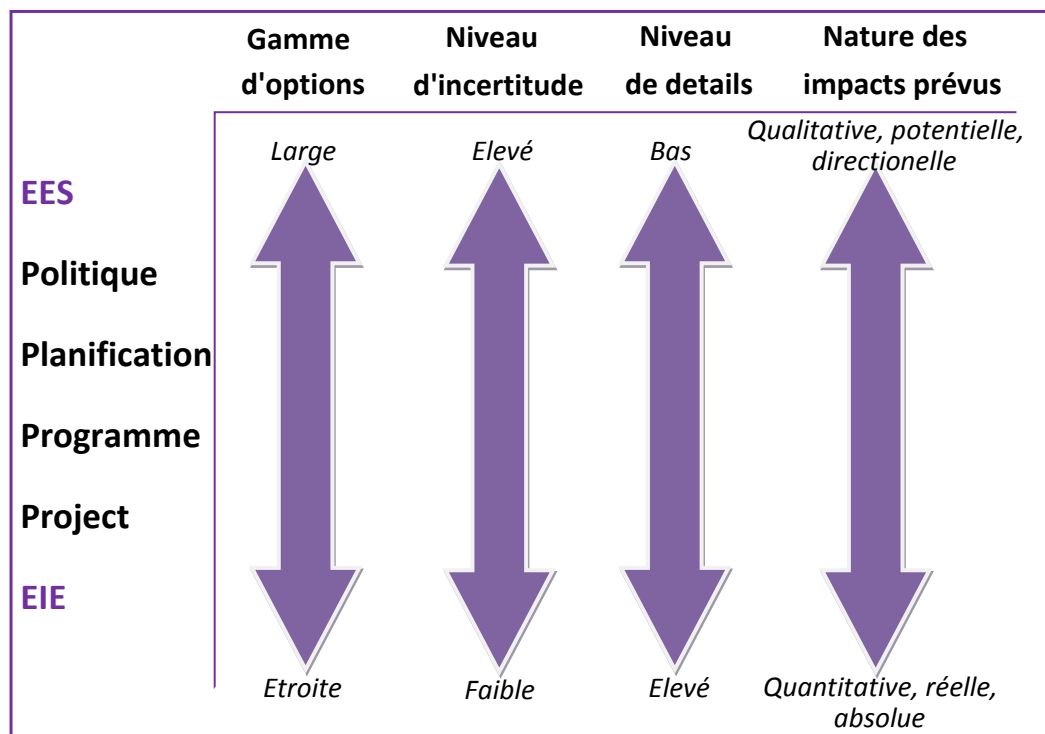


Figure 2: Principales différences entre EES et EIE (adapté d'Eales et al., 2003)

3.3.2 Exigences de la Banque Mondiale

Le Groupe de la Banque Mondiale (GBM) et la Société financière internationale (IFC) donnent un ensemble de lignes directrices à suivre pour avoir droit à des ressources financières pour des projets de grande échelle. D'après ces lignes directrices GBM/IFC, une EIE pour un projet de parc éolien offshore est censée dresser la liste de tous les impacts environnementaux significatifs et les décrire, y compris ceux qui sont :

- Inévitables et irréversibles ;
- Positifs et négatifs ;
- Directs et indirects ;
- A court et à long terme ; et
- Cumulatifs.

GBM et IFC demandent aussi une analyse de tout investissement alternatif possible ou d'autres options de politique. Ceci doit inclure des stratégies en termes de coûts et bénéfices environnementaux, couplées avec un plan d'atténuation. GBM et IFC fournissent des recommandations et des orientations quant aux étapes nécessaires à suivre pour répondre aux conditions préalables des deux évaluations.

GBM et IFC spécifient encore que les projets offshore d'énergie renouvelable doivent comprendre

un plan de Gestion et de Formation environnementale, de Suivi environnemental et des mesures de Consultations publiques.

3.3.3 Orientations des gouvernements et de l'industrie

Si ce document d'orientation présente des informations sur les découvertes scientifiques les plus récentes concernant les impacts du développement de l'énergie éolienne offshore sur l'environnement marin, il faut aussi penser aux autres ressources d'orientation qui sont développées par des gouvernements ou des organismes industriels lorsque l'on souhaite avoir plus d'informations sur les parcs d'éoliennes et sur leurs impacts environnementaux. Un grand nombre d'autres documents donnent des informations spécifiques sur des processus d'évaluation et des méthodes de suivi des impacts environnementaux. En voici quelques exemples :

- Lignes directrices pour la conservation de la nature lors du développement de parcs d'éoliennes offshore – DEFRA 2005
- Orientations consolidées sur les considérations environnementales pour le développement de parcs d'éoliennes offshore – OSPAR 2008
- Lignes directrices pour de bonnes pratiques à l'intention de l'industrie éolienne irlandaise – IWEA 2008
- Lignes directrices visant à concilier le dével-

oppement de l'énergie éolienne et la politique en matière de biodiversité – Commission européenne (2010).

4 Impact des parcs d'éoliennes sur l'environnement marin

Cette section donne un résumé des problèmes d'environnement marin qui sont actuellement en discussion parmi des parties prenantes ayant un lien avec des développements éoliens offshore.

La Section 4.2 fournit un bref compte-rendu des impacts potentiels des projets d'énergie éolienne offshore sur l'environnement marin qui requièrent une attention particulière, et elle suggère quelques options de gestion. Pour plus de détails, l'Annexe 1 du document complet (en anglais) passe en revue les orientations et l'état actuel des recherches, qui évolueront en fonction de l'avancée des connaissances acquises dans ce domaine.

4.1 Tableau résumé des impacts

En 2009, une revue scientifique des impacts potentiels de parcs éoliens offshore sur l'environnement marin fut réalisée dans le cadre de ce projet. Le Tableau 3 résume les résultats de cette analyse ; il présente les risques et les bénéfices potentiels identifiés pour des questions environnementales essentielles liées au développement de l'énergie éolienne offshore.

• Limites et réflexions au sujet des espèces et des systèmes

L'analyse considère les groupes d'animaux comme

figurant un échantillon représentatif des espèces. Il subsiste néanmoins de grandes lacunes dans les données car les effets sont différents selon les espèces et les saisons. Les réponses systémiques et écologiques peuvent aussi être très différentes entre régions et entre lieux particuliers, et elles dépendent également de la technologie et du type de fondations utilisés. Il faut remarquer que les estimations se limitent aux effets de parcs éoliens particuliers (voir Annexe 1 du document complet, Sections 11 et 12, pour plus de développements concernant les réponses écosystémiques et la variabilité des réponses selon les espèces et les lieux). Il faut aussi noter que le niveau de perturbation jugé acceptable dépendra du statut local/régional de conservation des espèces ou des habitats en question. Les déclarations et les conclusions ne sont pas forcément basées sur un consensus, mais elles visent plutôt à refléter la moyenne des vues des auteurs.

CLE

Les auteurs ont fixé les critères suivants pour évaluer les impacts:

Temporels

Court terme: Durant la phase de construction.

Long terme: Durant la phase opérationnelle.

Permanent: Des impacts persistent au-delà des phases de fonctionnement et de désaffectation.

Spatiaux

Très local: < 10 m. de la turbine éolienne.

Local: Entre 10 et 100 m. de la turbine.

Étendu: Entre 100 et 1000 m. de la turbine.

Très étendu: > 1000 m. de la turbine.

Le degré estimé de gravité (-) ou d'avantage (+) des impacts pour des assemblages d'espèces vivant dans la zone du parc éolien se catégorise comme suit:

Faible: Ne doivent pas influencer ou ont seulement de faibles impacts sur la taille ou la structure de l'assemblage d'espèces.

Moderé: Les impacts pourraient influencer légèrement les assemblages d'espèces, dans leur ensemble ou pour des espèces données.

Elevé: Les impacts pourraient influencer significativement la taille ou la structure des assemblages d'espèces, dans leur ensemble ou pour des espèces données.

Certitude

1 = La littérature consiste en des spéculations scientifiquement fondées.

2 = La recherche en est à ses balbutiements et ne permet aucune conclusion.

3 = La littérature disponible fournit une base raisonnable pour des évaluations.

4 = La littérature disponible fournit une bonne base pour des évaluations.

5 = La base des preuves est relativement solide.

Tableau 3: Problèmes environnementaux majeurs de l'énergie éolienne offshore

Problèmes environnementaux clés		Degré de certitude pour les prédictions/estimations, de 1 (faible) à 5 (élevé)	Échelle estimée des impacts n.a. = non évalué			Section de l'Annexe 1 (du document complet) où trouver la discussion
			Spatial	Temporel	Degré de gravité (-) ou d'avantage (+) estimé des impacts sur les assemblages d'espèces dans la zone du parc éolien	
POISSONS	Blessures dues aux pulsations sonores (construction)	3	Local	n.a.	Faible (-)	7.1
	Déplacement/perte d'habitat (construction)	3	Très étendu	Court terme	(-) voir 4.2.2	7.3
	Dispersion de sédiments (construction)	4	Étendu	Court terme	Faible (-)	4
	Perturbation due au bruit des opérations	4	Très local	Long terme	Faible (-)	7.6
	Exclusion du chalutage	5	Étendu	Long terme	Fort (+) voir 4.2.3	3.3
	Effets des récifs artificiels	3	Local	Long terme	Modéré (+) voir 4.2.3	3.3
	Champs électromagnétiques	2	Local (mais voir poissons migrateurs)	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude et voir poissons migrateurs)	8.1
	Collisions avec des turbines	2	n.a.	n.a.	Faible (-)	3.4
	Bruits masquant les sons produits par les animaux	2	Local	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude)	7.9
MAMMIFÈRES MARINS	Blessures dues aux pulsations sonores (construction)	3	Local	n.a.	Faible (-) mais voir 4.2.2	7.1
	Déplacement/perte d'habitat (construction)	3	Très étendu	Court terme	(-) voir 4.2.2	7.2
	Déplacement, perturbations (au cours des opérations)	3	Très local	Long terme	Faible (-)	7.7
	Amélioration de l'habitat	1	Étendu	Long terme	Faible (+) (mais noter degré de certitude)	3.3
	Barrières à la migration	2	n.a.	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude et prudence concernant les baleines), voir 4.2.3	7.9
	Collisions avec des turbines	2	n.a.	n.a.	Faible (-)	3.4
	Bruits masquant les sons produits par les animaux	2	Local	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude)	7.9

Problèmes environnementaux clés		Degré de certitude pour les prédictions/ estimations, de 1 (faible) à 5 (élevé)	Échelle estimée des impacts n.a. = non évalué			Section de l'Annexe 1 (du document complet) où trouver la discussion
			Spatial	Temporel	Degré de gravité (-) ou d'avantage (+) estimé des impacts sur les assemblages d'espèces dans la zone du parc éolien	
OISEAUX	Déplacement/perte d'habitat (construction)	5	Très étendu	Court terme	(-) voir 4.2.2	9.3
	Déplacement/perte d'habitats pour les oiseaux marins (c. à d. canards marins et plongeurs) (opérations)	4	Très étendu	Long terme	(-) voir 4.2.3	9.3
	Barrières à la migration (opérations) 1. Grands migrateurs 2. Nomades locaux	3	n.a.	Long terme	1. Faible (-) 2. Modéré (-) voir 4.2.3	9.2
	Collisions avec les turbines	3	n.a.	Long terme	Faible (-) mais voir 4.2.3	9.1
BENTHOS	Dispersion des sédiments (construction)	3	Étendu	Court terme	Faible (-)	4
	Perturbations acoustiques (construction)	2	Local	Court terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude)	7.4
	Changements de la structure des communautés dus directement aux turbines	4	Local	Long terme	Faible à modéré (-) voir 4.2.3	3.1 & 5
	Champs électromagnétiques	2	Très local	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude)	8.2
	Anoxie induite	4	Très local	Long terme	Faible	5
	Amélioration de l'habitat (sans compter l'exclusion du chalutage)	4	Très local	Long terme	n.a.	3.1
	Point d'entrée pour des espèces envahissantes	2	Très étendu	Long terme	n.a.	3.2
	Effets de l'exclusion du chalutage	5	Étendu	Long terme	Élevé (+) voir 4.2.3	3.1
HYDROLOGIE	Épuisement du phytoplancton	4	Local	Long terme	Faible (-)	5
	Remontée ou plongée d'eau au périmètre du parc éolien	1	Local	Long terme	Faible (+/-) (mais noter degré de certitude)	5
	Substances toxiques	4	Local	n.a.	Faible (-)	6
	Marées noires accidentelles (ex. accidents de navires)	-	n.a.	n.a.	(-) voir 4.2.3	
TORTUES MARINES	Déplacement/perte d'habitat (construction)	2	Très étendu	Court terme	(-) voir 4.2.2	7.1 & 7.8
	Déplacement/perte d'habitat (opérations)	2	Très local	Long terme	Faible (-) (mais noter degré de certitude) voir 4.2.3	7.8

4.2 Gérer les impacts tout au long du cycle de vie du projet

Cette section met en évidence les problèmes qui, en se fondant sur la révision présentée à l'Annexe 1 du document complet, demandent une attention particulière. Elle donne aussi des indications concernant les endroits de l'Annexe 1 où l'on peut trouver des informations supplémentaires.

Les impacts, et les éventuels moyens pour les réduire, vont varier en fonction de l'étape du cycle de vie du projet où se trouve le développement en cours (voir Figure 3). Pour simplifier, ces conseils sont scindés en quatre sections, orientées selon les phases de développement du projet.

4.2.1 Planification

Activités principales, par exemple:

- Sélection/prospection de sites ;
- Planification ;
- Conception, ex. type de turbine et méthode d'installation (voir Encadré 1: types de fondations) et analyse des options de démontage (voir Section 4.2.4 sur le démantèlement) ;
- Licences/permis (y compris EIE). L'examen des alternatives est fondamental, ainsi qu'une évaluation comparative des options jugées ;

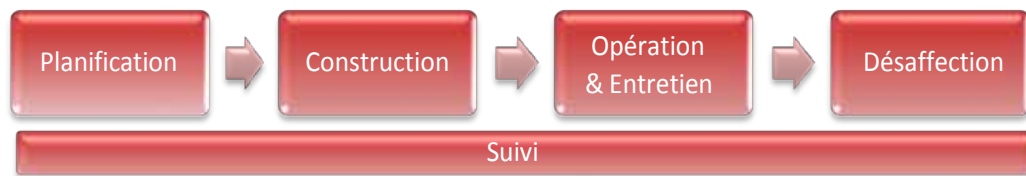


Figure 3: Cycle de vie d'un projet

- Conception de mesures d'atténuation appropriées.

Lors des processus de prospection, planification et autorisations, il faut étudier soigneusement le type de turbine, la méthodologie de l'installation (ex. construction des piliers, préparation du fond marin) et les mesures d'atténuation appropriées. Des décisions prises au stade de la planification ont des implications pour toutes les autres étapes du cycle de vie. Il est possible d'éviter des impacts importants dès le stade de la planification, et de réduire ainsi autant que possible le besoin de prendre des mesures d'atténuation potentiellement coûteuses plus tard dans le courant du cycle de vie. La plupart des problèmes qui ne peuvent pas être atténués par la conception du projet peuvent être traités dès les premiers stades de la planification spatiale et en incluant des priorités de conservation dans les plans de gestion des paysages marins. Il faut aussi prendre en compte les impacts potentiels des tirs sismiques pendant la phase de prospection.

4.2.2 Construction

Activités principales:

- Préparation du site, dragage et nivellement ;
- Construction des piliers/installation des fondations ;
- Pose des câbles ;
- Transports (par bateau) ; et
- Transports aériens.

Principaux facteurs de perturbation:

- Bruit ;
- Perturbation du fond marin ; et
- Activité accrue (ex. trafic maritime).



Encadré 1: Types de fondations

Il existe différentes technologies pour les fondations. Actuellement, celles qui sont économiquement viables sont les fondations gravitaires (béton ou acier), tripodes, jacket, et monopiles (ou monopieu). D'autres approches, comme les fondations bucket et flottantes, sont en développement ou font l'objet de recherches (voir Figure 4).

Figure 4: Options de fondations offshore – la figure montre les quatre principaux types de fondations pour les éoliennes offshore. De gauche à droite: gravitaire, monopile, tripode et flottante. © C. Wilhelmsson.

Fondations gravitaires

Conception – Fixées au fond de la mer par le seul effet de la gravité. Les structures sont normalement construites en bassins de radoub puis remorqués vers le site.

Utilisation – Les fondations gravitaires sont toujours utilisées aujourd'hui (ex. Lillgrund en Suède, Rødsand au Danemark) et sont le deuxième type de fondation le plus utilisé après les monopiles.

Profondeur – Généralement limitées à des eaux peu profondes (< 5 mètres), mais on a commencé à en construire à des profondeurs de 20 mètres à Thorntonbank, en Belgique. Il est possible d'utiliser ce type de fondation jusqu'à 30 mètres de profondeur mais le coût augmente avec la profondeur.

Préparation – Les fondations gravitaires requièrent beaucoup de préparation du fond marin et il faut faire très attention pour empêcher l'érosion autour de leur base.

Fondations monopiles

Conception – Un pilier d'acier, extension de la tour, est placé 10 à 20 mètres sous le niveau de la mer. Comparées aux fondations gravitaires, les monopiles sont beaucoup plus légères, plus résistantes et elles peuvent être placées dans des eaux plus profondes.

Utilisation – Les fondations monopiles sont celles qui sont utilisées le plus souvent. Elles devraient dominer dans les aménagements des prochaines années.

Profondeur – Elles peuvent être utilisées dans des eaux dont la profondeur atteint environ 30 mètres.

Préparation – Les monopiles ne peuvent être utilisées que dans des conditions de fonds marins bien spécifiques (ex. fonds qui ne sont pas encombrés de gros blocs rocheux), elles ne requièrent alors aucune préparation particulière et sont moins susceptibles de s'éroder.

Fondations tripodes et jacket

Conception – Pour les tripodes, les fondations sont stabilisées par trois piliers d'acier connectés à la partie submergée du pylône. Les fondations jacket sont généralement quadripodes et composées d'une construction en treillis tubulaire arrimée au fond de la mer. Comparées aux monopiles, les fondations tripodes et jacket sont plus complexes et donc plus coûteuses.

Utilisation – Ce sont des fondations tripodes et jacket qui sont utilisées dans le projet Alpha ventus. La plateforme pétrolière Béatrice au large de la côte est de l'Écosse teste actuellement deux turbines de 5 MW à une profondeur de 45 mètres avec une structure jacket.

Profondeur – Les fondations tripodes et jacket conviennent pour de plus grandes profondeurs (de 30 à 60 mètres).

Préparation – L'érosion n'est normalement pas un problème mais, comme avec les monopiles, leur utilisation dans des endroits encombrés de gros rochers n'est pas possible en raison des exigences de l'édification des piliers.

Fondations flottantes et plateformes

Conception – Les turbines flottantes et les plateformes sont amarrées au fond de la mer pour rester en place. La technique est compliquée étant donné le caractère aléatoire des forces de la nature (vent et vagues) qui agissent sur les turbines. Mais, comme les systèmes flottants peuvent être assemblés sur terre (coûts de construction réduits), cette technologie présente certains avantages.

Utilisation – Les conceptions sont adaptées de celles des secteurs pétrolier et gazier, mais aucun projet commercial utilisant des plateformes flottantes n'est aujourd'hui en activité. Les technologies de turbines flottantes pourraient être commercialement disponibles d'ici 2020.

Profondeur – Alors que les parcs éoliens évoluent pour atteindre des profondeurs de 50 mètres, voire plus, les turbines flottantes ou placées sur des plateformes vont probablement remplacer les fondations plus conventionnelles. À des profondeurs de 70 mètres et plus, elles seront probablement la seule option disponible.

(suite au verso)

Types de fondations (suite)

Fondations flottantes et plateformes

Préparation – Assemblées sur terre, elles sont fixées au fond de la mer par de grandes ancrs (ex. ancrs implantées).

Fondations bucket

Conception – La fondation par succion ou bucket est un concept utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière : une fondation bucket est pressée sur le fond de la mer et un phénomène de succion est produit pour la maintenir en place.

Utilisation – Les informations sur cette technologie sont très limitées pour le moment.

Profondeur – Non évalué.

Préparation – Il n'y a pas besoin d'amener de pieu, et la technique est donc moins complexe que les fondations tripodes/jacket. Ce type de fondations semble mieux convenir dans des fonds marins argileux et sableux étant donné que des substrats plus solides requièrent de plus grandes différences de pression.

PROBLEMATIQUES REQUIERANT UNE ATTENTION SPECIALE

Menace: Bruit de l'installation des pieux/activités de construction

La phase de construction des parcs d'éoliennes va inévitablement générer du bruit lors de la préparation du fond marin (ex. nivellement, qui peut inclure l'utilisation d'explosifs), de l'installation des fondations et du trafic des bateaux. Plus particulièrement, le battage des pieux pour les fondations monopiles, tripodes et jacket peut causer des perturbations acoustiques aiguës. Les effets qui en résultent dépendent d'un certain nombre de facteurs, tels que la topographie et la composition du fond marin, le diamètre des pieux, les sons ambiants et les espèces marines étudiées.

Généralement, les impacts du bruit devraient être temporaires. Mais les bruits causés lors de la pose des pieux peuvent tuer ou blesser des poissons, des mammifères et des tortues de mer, ou encore les pousser à abandonner une zone qui peut s'étendre à des dizaines de kilomètres du site de construction. La délocalisation des espèces risque d'affecter gravement l'habitat des lieux de frai et de nurseries si l'on n'applique pas les interdictions saisonnières adéquates. Les tortues marines peuvent être particulièrement sensibles à toute perte d'habitat, fût-elle temporaire : elles semblent, en effet, très peu flexibles quant à leurs schémas de distribution spatiale.

Annexe 1 du document complet – voir Sections 7.1-7.4 pour plus de détails.

Options d'atténuation

- La fréquentation de l'habitat et les schémas de migration des espèces sensibles doivent être pris en compte pour le timing de la construction des parcs d'éoliennes. Pour la phase de construction (et le démantèlement), il faut éviter les saisons où des espèces sensibles de populations vulnérables se rassemblent pour des étapes clés de leur cycle de vie (ex.: la principale saison de reproduction pour de nombreuses espèces des régions tempérées va du printemps jusqu'au début de l'été).
- Pour éviter que des pulsations sonores trop aiguës ne provoquent des blessures, l'utilisation de pingers (répulsifs acoustiques) a été suggérée pour éloigner les marsouins et les dauphins avant que débutent les activités de construction. On s'en est aussi servi pendant la construction de parcs éoliens offshore.
- Une approche standard consiste à augmenter progressivement la force des marteaux hydrauliques lors de la pose des structures en piliers pour donner aux mammifères, aux gros poissons et aux tortues marines une chance de quitter la zone avant que le niveau maximal de production sonore ne soit atteint. Il faut cependant remarquer que cette méthode n'est pas sans contradictions car elle risquerait au contraire d'entraîner une habitude progressive, voire un attrait vers les sons initialement faibles.
- Une autre méthode consiste à entourer la zone d'implantation des piliers d'un rideau de bulles ou d'envelopper ces derniers dans un isolant

Construction du parc éolien d'Utgrunden, Suède.

Photo: Gunnar Britse



acoustique. La protection par les bulles peut réduire le volume sonore de 3-5 décibels, c.à.d. diminuer de moitié l'intensité des sons, mais cette méthode dépend de la force des courants.

4.2.3 Fonctionnement et maintenance

Activité principale:

- Fonctionnement des turbines.

par ex. entretien, comme les réparations, le changement d'huile dans les stations de transformation, le renouvellement des peintures et le décapage.

Principaux facteurs de perturbation:

- Présence physique des turbines ;
- Bruit ; et
- Activités de maintenance.

PROBLEMATIQUES REQUIERANT UNE ATTENTION SPECIALE

Opportunité: Exclusion du chalutage

Le chalutage, qui est probablement une des plus sérieuses menaces pour l'environnement benthique, est interdit ou réduit à l'intérieur des parcs éoliens, et ces zones qui couvrent plusieurs kilomètres carrés deviennent en quelque sorte des «zones de non-pêche».

Donc, dans les zones qui étaient auparavant parcourues par les chalutiers, il y aura moins de perturbations physiques touchant des communautés benthiques, et ceci créera un environnement plus favorable aux espèces à longue durée de vie plutôt qu'aux espèces opportunistes. Cela sera bénéfique pour la biodiversité des espèces benthiques, avec un éventuel effet de débordement vers les zones adjacentes. Les « zones de non-pêche » pourraient avoir un effet positif sur les stocks de poissons, pour autant que les poissons y passent assez de temps et qu'ils ne les évitent pas, par exemple à cause du bruit ou d'autres formes de nuisance régnant dans les parcs éoliens. Une autre condition préalable pour que les effets soient positifs pour les stocks de poissons est que la reproduction ou l'efficacité alimentaire des poissons ne soient pas significativement perturbées dans la zone des parcs éoliens.

Options d'amélioration

- En plus des zones de sécurité entourant les parcs éoliens, il faudrait étendre les « zones de non-pêche » pour accroître les bénéfices qu'en tirent les organismes marins et leurs habitats.
- Il serait aussi possible d'implanter les parcs éoliens de façon stratégique pour protéger certaines ressources marines, à condition que les effets perturbateurs de leur construction et de leur fonctionnement ne réduisent pas à néant les avantages de l'exclusion du chalutage.

Annexe 1 du document complet – voir Sections 3.1 et 3.3 pour plus de détails.



Bateau de pêche quittant le parc éolien de Lillgrund, Suède. Photo: Mattias Rust

Opportunité: Amélioration de l'habitat

Les turbines éoliennes et les structures de protection contre l'érosion peuvent servir d'habitat pour des assemblages de poissons et d'invertébrés. L'amélioration de l'habitat pourrait compenser la perte, en d'autres endroits, de zones biologiques importantes, conformément à la Directive cadre « Stratégie pour le milieu marin » de l'UE (MSFD, 2008/56/EC). L'importance de l'amélioration de l'habitat grâce au développement de l'énergie offshore va dépendre de l'échelle et de la superficie en question, mais pour la plupart des espèces, elle sera probablement insignifiante à l'échelle régionale. Il pourrait y avoir des exceptions lorsque des espèces fortement exploitées, limitées à un habitat bien précis et/ou vulnérables, sont ainsi protégées de toute exploitation ou qu'un habitat propice leur est assuré.

Annexe 1 du document complet – voir Sections 3.1-3.3 pour plus de détails.

Options d'amélioration

- Pour atténuer l'érosion du fond marin due aux mouvements de l'eau autour des fondations des turbines, des rochers ou du gravier sont placés sur le fond de l'eau. La protection contre l'érosion va de la base de la turbine jusqu'à une distance de 5 à 10 mètres. Sinon, des films synthétiques (matelas anti-érosion) facilitant la sédimentation sont posés tout autour des fondations. Ces éléments, tout comme les turbines elles-mêmes, peuvent être spécialement conçus pour améliorer l'habitat d'espèces particulières.
- Pour étendre, quand cela est souhaité, la superficie de ces parcelles de récifs artificiels et la connectivité entre elles, il est possible de créer d'autres parcelles sur une plus grande surface à l'intérieur du parc d'éoliennes.

Menace: Perte d'habitat pour les canards marins et les oiseaux plongeurs

Il a été démontré que certaines espèces d'oiseaux marins (par ex. les oiseaux plongeurs et les canards marins) évitent les parcs d'éoliennes, pas seulement pendant leur construction mais aussi en phase de fonctionnement. La gravité des effets sur des assemblages locaux d'oiseaux dépend largement de la possibilité qu'ont, ou pas, les oiseaux de trouver des habitats alternatifs.

Annexe 1 du document complet – voir Section 9.3 pour plus de détails.

Options d'atténuation

- Il faudrait éviter les habitats importants pour la reproduction et le nourrissage. Cependant, dans de nombreux cas, ces habitats ne sont pas assez bien identifiés.
- En construisant dans des eaux plus profondes que 20 mètres, ou en évitant des habitats où la biomasse est élevée, il est possible d'épargner les sites de nourrissage benthiques des oiseaux marins.
- Par exemple, selon un critère de la Convention de Ramsar appliqué communément, une zone

Turbine éolienne dans le Détroit de Kalmar, offrant un habitat à des moules bleues (*Mytilus trossulus*) et à des gobies nageurs (*Gobiusculus flavescens*). Photo: Dan Wilhelmsson.



peut être considérée comme importante pour une espèce si plus d'1% de sa population y réside ou la fréquente. Il est possible d'obtenir les indices spécifiques de sensibilité détaillés pour les impacts des parcs d'éoliennes sur les oiseaux marins.

Menace: Barrières à la migration des oiseaux, des tortues marines et des baleines

Plusieurs espèces d'oiseaux évitent les parcs d'éoliennes pendant leur migration. Des études ont montré que le nombre d'eiders et d'oies qui traversaient les zones où se sont implantés des parcs d'éoliennes avait été divisé par 4 ou 5 après leur construction. Cependant, pendant la migration, les pertes d'énergie que l'on peut attribuer à l'effet de barrière que constitue un parc éolien et au contournement d'un tel parc semblent insignifiantes. Les seuls coûts énergétiques estimés mesurables sont ceux d'espèces qui traversent une région de façon quotidienne, par exemple entre les sites de nourrissage et les lieux de repos ou de nidification. Dans ces cas-là, les parcs d'éoliennes peuvent causer la fragmentation d'unités écologiques cohérentes pour ces oiseaux. Pour des mammifères, telles que les baleines pendant leur migration, les impacts des perturbations sonores causées par des parcs d'éoliennes sur les communications et la navigation à longue distance sont pratiquement inconnus. Les tortues de mer sont menacées dans le monde entier et pourraient être dérangées par les sons à basse fréquence qu'émettent les turbines. Elles font preuve d'une fidélité extrême envers leurs voies de

Élevage de moules (voir Encadré 2, p.26)

Photo: Tony Holm, Azote



migration, ce qui peut les rendre plus sensibles à ce genre de perturbation.

Annexe 1 du document complet – voir Sections 9.2 (oiseaux) et 7.7, 7.8 et 7.9 (autres espèces) pour plus de détails.

Options d'atténuation

- Les voies de migration diurne entre les sites de repos et les zones de nourrissage des espèces d'oiseaux vulnérables devraient être évitées.
- S'il y a des risques de chevauchement, il faudrait maintenir ouverts des corridors de migration de plusieurs kilomètres de large entre les parcs d'éoliennes.

- Il est possible de laisser aussi des corridors à l'intérieur des parcs puisqu'on a remarqué que des oiseaux utilisaient les corridors lorsqu'ils volent dans ces zones.
- Il faut faire très attention aux schémas de migration des tortues marines.

Menace: Collisions avec des oiseaux

Souvent, il est dit que les risques de collisions des éoliennes offshore avec des oiseaux ne causeraient qu'une mortalité minimale dans leurs populations. Les recherches en la matière sont encore très lacunaires mais une récente étude réalisée dans un parc d'éoliennes indique que la majorité des collisions se passent quelques jours par an, lorsque la navigation

des oiseaux est gênée par de mauvaises conditions météorologiques, ce qui fragilise les prévisions.

Annexe 1 du document complet – voir Section 9 pour plus de détails

Options d'atténuation

- Pour minimiser les risques de collisions, il faut éviter d'installer les parcs éoliens dans d'importants corridors de migration.
- On pourrait repenser l'alignement des turbines et celles-ci pourraient être rendues plus visibles pour les oiseaux.
- L'éclairage pourrait aussi être ajusté à un niveau qui préserve la sécurité de la navigation des bateaux mais qui réduit l'attraction potentielle pour les oiseaux.

Menace: Modifications du fond marin

Le déploiement de turbines éoliennes et de protections contre l'érosion peut aboutir à une perte directe de 1 à 3% du fond marin inclus dans un parc d'éoliennes, chaque installation exigeant jusqu'à 450 mètres carrés. L'abondance de poissons et de crabes est susceptible de croître, étant donné cet ajout de structures physiques et, par conséquent, la densité de proies benthiques pourrait diminuer à proximité des turbines. On estime que le rayon d'influence sur la biomasse de proies et de macroalgues autour d'un récif artificiel pourrait aller de 15 à 100 mètres. Le filtrage et le dépôt de matière organique, notamment de matières qui proviennent de poissons et d'invertébrés à l'intérieur et autour d'un parc d'éoliennes, peuvent influencer les communautés

benthiques jusqu'à 40 mètres de distance et entraîner des changements locaux de la composition des assemblages de macro-invertébrés ainsi que des modifications des paramètres physico-chimiques et autres aux abords des structures. Le filtrage exercé par un grand nombre de moules fixées sur une turbine peut, selon une étude, épuiser le phytoplancton et, de ce fait, être à l'origine d'une plus faible biomasse d'animaux filtrants sur le fond de la mer dans un rayon de 20 mètres autour d'une turbine. Ces impacts ne devraient avoir d'importance significative que dans des habitats protégés qui hébergent des espèces vulnérables ou encore là où l'échelle des aménagements est plus substantielle. Les parcs d'éoliennes fournissent aussi des substrats durs (y compris des sections peu profondes)

dans des zones qui sont normalement dominées par un fond marin sédimentaire. Ils peuvent ainsi changer le schéma de dispersion et la distribution d'espèces vivant dans des récifs.

Annexe 1 du document complet – voir Sections 4 et 5 pour plus de détails.

Menace: Aléas de la navigation/marées noires

L'augmentation du nombre d'installations industrielles dans les eaux côtières et offshore, suite au développement de l'énergie renouvelable en mer, pourrait accroître les risques de navigation pour les bateaux, spécialement là où les parcs d'éoliennes

Parc d'éoliennes d'Utgrunden, Suède. Photo: Gunnar Britse



occupent des zones d'eaux profondes de plus de 20 mètres. Cela augmente les risques de marée noire et d'autres types de pollution marine. Une turbine pourrait, par exemple, érafler le flanc d'un navire et provoquer une marée noire. Il serait aussi possible que le rotor ou le générateur d'une éolienne, pesant jusqu'à 400 tonnes, tombe sur un bateau, encore qu'une conception technique des turbines, telle que celle du site Alpha ventus puisse empêcher ce genre d'accident. Des évaluations des risques environnementaux, qui prennent totalement en compte les impacts des différents types de fondations sur les coques des navires, classent les collisions avec des constructions tripodes ou jacket comme étant les plus graves, alors qu'une collision avec une structure monopieu pourrait causer moins de dommages à l'environnement. Le risque de collision, pour chaque cas particulier, est le produit d'un certain nombre de facteurs, tels que le trafic maritime, la distance par rapport aux couloirs de navigation, le vent, les courants et les conditions atmosphériques.

Options d'atténuation

- Il est possible de réduire le risque de collision en prenant des mesures de sécurité appropriées.
- Les bateaux de dernière génération sont construits avec des doubles coques, ce qui diminue fortement le risque d'impacts environnementaux en cas de collision, mais les bateaux à coque simple sont encore très utilisés.
- Respecter les lignes directrices pertinentes. Par exemple, la Maritime and Coastguard Agency (Agence maritime et garde-côte) du Royaume-

Phoques dans le parc éolien d'Utgrunden, Suède.

Photo: Gunnar Britse



Uni donne des lignes directrices pour aborder la question des impacts de tous les types d'installations éoliennes sur la navigation, et notamment des mesures de sécurité.

encore reconditionnées et réutilisées. Les turbines pourraient aussi être partiellement enlevées ou basculées et couchées sur le fond.

Option 1: Enlèvement complet

Si un parc éolien est totalement enlevé, il en va de même pour tous les effets perturbateurs qui y sont liés. Cependant, certains problèmes de remise en suspension des sédiments peuvent survenir, spécialement si les câbles avaient été enterrés, ce qui a pour conséquence de perturber tout habitat sensible. De plus, il y a un risque de déranger des habitats qui ont éventuellement été créés et qui se sont développés avec les années, constituant dans de nombreux cas des îles de substrats durs compara-

4.2.4 Démantèlement

Étant donné que le cycle de vie d'un parc éolien offshore moyen est estimé à 25 ans, on n'a encore rassemblé que peu de données sur la question du démantèlement. Cependant, les expériences connues dans les secteurs pétrolier et gazier peuvent être adaptées aux parcs d'éoliennes. De la même manière que les plateformes pétrolières, les turbines éoliennes pourraient être démantelées et recyclées, ou jetées dans des décharges agréées, ou

tivement peu dérangés dans des régions dominées par ailleurs par des fonds meubles. De plus, si un parc éolien a réellement protégé toute une zone des effets destructeurs de la pêche, cette protection est susceptible de disparaître en même temps que ses structures.

Les nouvelles technologies pourront peut-être offrir de meilleures alternatives, mais l'expérience actuelle du démantèlement des plateformes pétrolières favorise les explosifs et le découpage. Les explosifs tuent la plupart des animaux vivant dans la zone la plus proche de chaque turbine, et les poissons ayant une vessie natatoire sont les plus touchés. Vu le grand nombre de turbines et la surface qu'elles couvrent, les impacts pourraient être conséquents si cette technique était utilisée.

Même si, au départ, on suppose que la totalité des turbines sera enlevée, le démantèlement des parties des turbines éoliennes qui se trouvent sous la surface pourrait, dans bien des cas, être remis en question.

Option 2: Laisser les structures en place, notamment en les basculant

Une autre option consiste à laisser les structures immergées sur place. Les turbines posées sur le fond n'émettraient aucun bruit et n'auraient plus aucune partie mobile. Si elles ne sont pas enlevées, les installations deviendraient en fait permanentes parce que le taux de dégradation de l'acier à haute teneur en carbone est extrêmement lent. Tout habi-

Bateau de service dans le parc éolien de Nysted, Danemark.

Photo: Gunnar Britse



tat qui aurait été créé, et toute perturbation de l'habitat engendrée par la présence physique des turbines, seraient alors maintenus.

Option 3: Modernisation continue

Contrairement au pétrole et au gaz, les ressources éoliennes sont renouvelables. Cela permet donc de décider que le parc éolien doit rester en activité,

avec une maintenance continue et des améliorations si nécessaire. Dans ce cas, les impacts aussi bien positifs que négatifs du fonctionnement des turbines sur l'environnement marin seront maintenus.

En conclusion, les décisions quant au sort des turbines éoliennes devront inévitablement se prendre au cas par cas.

4.3 Impacts résiduels

Même si le promoteur d'un parc éolien travaille vraiment en suivant la hiérarchie de la mitigation (voir Figure 1) et identifie, évite et minimise les impacts d'un aménagement donné, il reste toujours des impacts. Ceux-ci peuvent être importants, ou non, en fonction de la fragilité de la zone et des espèces. Les impacts résiduels peuvent comprendre (mais ne se limitent pas à):

- La perte d'habitat au cœur du périmètre physique de la turbine, des fondations, de la protection anti-érosion et dans les zones proches.
- Des changements forcés d'assemblages d'espèces à cause de la présence physique de la turbine et des impacts qu'elle a sur l'équilibre entre proies et prédateurs.
- Le bruit et les champs électromagnétiques qui peuvent encore provoquer des changements de comportement chez certaines espèces malgré toutes les mesures de mitigation prises pour atténuer ces impacts.
- Même si la restriction des activités de pêche dans une zone peut avoir des effets bénéfiques sur l'environnement marin du parc éolien, il peut encore subsister certains impacts biologiques et sociaux dans la mesure où la pêche peut s'être reportée vers d'autres endroits.

Les promoteurs de projets essayent de plus en plus de prendre en considération les mesures qui permettent de pallier ou de compenser ces effets résiduels. Les compensations de la biodiversité sont une

façon de s'assurer que le développement du projet évite une perte nette de biodiversité voire qu'il en résulte un gain net.

Les compensations doivent être quantifiables, et il faut prévoir les pertes probables de biodiversité et les mettre en regard des avantages prévus en ce qui concerne la composition des espèces, la structure de l'habitat, les fonctions écosystémiques et l'utilisation de la biodiversité par d'autres personnes. Le Business and Biodiversity Offset Programme (Programme de compensation pour les entreprises et la diversité biologique) (BBOP) envisage actuellement nombre de ces aspects en lien avec des études de cas réelles et il travaille avec des promoteurs clés pour concevoir et mettre en œuvre des projets de compensation de la biodiversité pour leurs sites opérationnels (<http://bbop.forest-trends.org/index.php>).

4.4 Impacts cumulatifs et synergies

On peut évaluer les impacts cumulatifs à deux niveaux:

- Les impacts combinés d'un projet d'énergie éolienne donné face aux pressions anthropiques existantes, telles que la pollution, le trafic maritime et l'extraction de sable ou de gravier.

- Les conséquences de l'existence de plusieurs parcs éoliens dans une zone ou une région en termes de barrières à la migration et de perte ou de fragmentation d'habitats.

Les parcs d'éoliennes offshore affectent de très vastes zones marines où leurs effets combinés peuvent être plus prononcés que la somme des impacts de chaque turbine et de chaque parc. Bien que souvent exigés par la législation des EIE, celles-ci s'intéressent rarement aux effets cumulatifs d'activités existantes ou à venir, notamment les objectifs stratégiques de l'énergie éolienne offshore. Pour pallier cela, il faut concevoir et normaliser des critères et des méthodes permettant d'évaluer les effets cumulatifs sur des échelles spatio-temporelles appropriées. Les EES doivent aussi traiter des effets cumulatifs, et les synergies doivent être analysées à une échelle appropriée au plan, à la politique et au programme.

La Figure 5 ci-dessous illustre le processus d'évaluation des impacts des aménagements éoliens sur des espèces marines, qui devrait intégrer les liens écologiques entre les espèces et les effets cumulatifs de plusieurs parcs à éoliennes dans une zone/région.

Pour estimer des impacts régionaux, par exemple, il faut dresser des cartes des fonds marins et mettre au



Figure 5: Un résumé des étapes d'une EES (basée sur la Directive 2001/42/CE)

point des modèles de connectivité écologique. Il faut investiguer les conséquences écologiques (ex. sur la croissance, le taux de survie et la reproduction) pour des organismes affectés positivement ou négativement par des parcs d'éoliennes, ainsi que tout effet en cascade possible, et il faut en faire le suivi pendant toute la durée des activités afin d'obtenir une vue plus complète des effets perturbateurs.

4.5 Interactions avec d'autres utilisateurs de la mer

Il ne faut pas examiner isolément les impacts des parcs d'éoliennes offshore mais voir aussi les autres utilisateurs de l'environnement marin qui sont concernés. Grâce à des réelles consultations faites dans le cadre d'un processus d'évaluation d'impact, il est possible d'identifier les menaces potentielles et ainsi mieux gérer les opportunités. Les exemples de menaces et d'opportunités que présentent les parcs éoliens offshore sont donnés plus bas. Les secteurs à analyser incluent (mais ne se limitent pas à) :

- Pêche ;
- Aquaculture (voir Encadré 2) ;
- Trafic maritime ;
- Loisirs et tourisme ; et
- Autres secteurs d'énergie renouvelable offshore (voir Encadré 3).

Encadré 2: Aquaculture

L'aquaculture de poissons et de moules pour la consommation humaine devrait augmenter considérablement aux cours des prochaines décennies. L'élevage de moules est aussi testé pour la production de protéines animales et d'engrais et pour le recyclage des nutriments dans des étendues d'eau eutrophiques. Les installations de parcs éoliens pourraient offrir des opportunités uniques d'exploiter des zones situées plus loin en mer. Les solides fondations des turbines d'éoliennes pourraient fournir un ancrage à des installations d'aquaculture dans des zones qui ne sont pas propices aux techniques conventionnelles. Il a aussi été montré que les moules bleues provenant de la pleine mer sont beaucoup moins infestées de parasites que celles de sites intérieurs, ce qui devrait en théorie améliorer leur survie et leur croissance.

Les installations d'aquaculture offshore peuvent aussi profiter de taux plus faibles de pollution en provenance des écoulements urbains ou agricoles. Les moules bleues qui grandissent sur les turbines elles-mêmes et qui établissent des conditions idéales pour l'installation et la croissance d'organismes filtrants (voir Annexe 1 du document complet, Section 3.1), peuvent aussi être récoltées si des techniques rentables sont mises au point. Des moules ont été récoltées sur des plateformes pétrolières dans la Baie de Californie du Sud pour la consommation humaine. Pour autant que cela réduise la densité des entreprises d'aquaculture près des côtes et que les problèmes environnementaux qui y sont liés ne soient pas simplement déplacés vers de fragiles habitats intacts situés plus au large, cette option pourrait constituer une mitigation environnementale pour le secteur de l'aquaculture.

Encadré 3: Synergies des parcs d'éoliennes avec l'industrie houlomotrice

La viabilité d'un parc combiné d'énergies éolienne et houlomotrice est actuellement à l'essai au Danemark. Tout en représentant une réduction des perturbations totales sur l'environnement marin, les installations éolienne et houlomotrice peuvent partager les mêmes fondations, les mêmes voies de transfert d'électricité et les mêmes coûts de maintenance. L'énergie du vent et celle des vagues peuvent avoir des périodes complémentaires de performances maximales, et le fait de combiner la production des deux donne une fourniture d'électricité plus continue qui nécessite moins de sources d'énergie auxiliaires.

5 Conclusions et recommandations

5.1 Questions de stratégie et de gouvernance

Les ressources des océans sont limitées. C'est pourquoi des approches complètes intégrées sont essentielles pour gérer les activités humaines. Les installations offshore d'énergie renouvelable de grande échelle constituent un défi relativement nouveau pour des stratégies intégrées de gestion côtière et pour une planification marine spatiale. Le développement de parcs d'éoliennes dans des eaux territoriales doit donc être incorporé dans la Gestion intégrée des zones côtières (GIZC) et dans les instruments de planification spatiale, le cas échéant.

La coordination des mesures de conservation (ex. désignation Natura 2000) et le développement de l'énergie éolienne devraient être facilités par une amélioration des échanges d'informations entre autorités. Le rythme relativement rapide du développement de l'énergie éolienne risquerait sans cela de prendre de l'avance sur les processus souvent complexes de recherche, d'évaluation et de désignation d'aires marines protégées. Comme les parcs d'éoliennes excluent le chalutage, la planification spatiale et la protection de la nature pourraient, d'autre part et dans certaines circonstances, tirer avantage du fait de combiner des mesures de conservation et un développement offshore de parcs d'éoliennes.

Les impacts des activités de construction (ex. mise en place des piliers) sur les mammifères et les poissons dépendent beaucoup de la disponibilité d'habitats propices alternatifs. Donc, pour minimiser les effets cumulatifs d'activités de développement simultanées, il faut coordonner à un niveau central et le timing et les

zones de construction des différents promoteurs.

Il faut recourir intégralement à une planification spatiale. Comme les impacts de la construction de parcs d'éoliennes offshore peuvent se faire sentir à plusieurs kilomètres de la zone en question, il faudrait, par exemple, appliquer des zones de sécurité/tampon dans le processus de planification spatiale, en évitant les hauts-lieux de la biodiversité et les habitats vulnérables.

5.2 Sujets d'incertitude et points à aborder

Il existe encore dans ce domaine des incertitudes et des lacunes substantielles dans les connaissances, et celles-ci entravent l'évaluation effective des impacts et des résultats de certains permis de construction et d'exploitation. Il y a, par exemple, remarquablement peu de données écologiques de référence, ce qui limite les EIE et les programmes de monitoring. Si l'on n'adopte pas une approche prudente, ceci pourrait mettre en danger des habitats, des espèces et des écosystèmes, notamment ceux qui sont d'un grand intérêt pour la conservation. Mais le nombre d'études environnementales et écologiques ciblées ayant un lien avec le développement de l'énergie offshore est en augmentation. Avec le temps, le suivi continu et amélioré de paramètres environnementaux (biotiques et abiotiques) judicieusement choisis, pendant la construction et l'exploitation de parcs d'énergies renouvelables offshore, va générer des données plus fiables sur les effets négatifs, et éventuellement positifs, des aménagements éoliens offshore. La possibilité d'identifier et d'arriver à un consensus entre parties prenantes sur les zones à envisager pour l'exploitation pourrait en être facilitée, et il serait possible d'améliorer la mise au

point de méthodes de construction moins agressives et d'autres mesures pour protéger l'environnement marin.

Cela prendra cependant plusieurs années pour que les nouveaux programmes de suivi fournissent un aperçu global des risques et des opportunités pour l'environnement. La prudence est aussi recommandée lorsque, par exemple, des données ou des résultats de recherches générés dans des régions tempérées sont extrapolés à d'autres régions, comme les Tropiques. En effet, il y a des différences majeures entre les facteurs régulateurs, les espèces et les habitats sous des latitudes différentes. Les incertitudes quant aux conséquences prévues augmentent aussi avec l'ampleur des aménagements des parcs éoliens, aussi bien en termes de taille que de nombre d'installations.

5.3 Améliorer l'utilisation des évaluations d'impacts

Certaines normes d'EIE exigent jusqu'à deux années complètes successives de données avant de pouvoir approuver la construction de parcs éoliens. Il faut cependant considérer ces périodes d'attente comme le résultat d'une approche pragmatique dans la mesure où elles ne sont généralement pas encore suffisantes pour comprendre complètement les effets écologiques pour chaque site en question, notamment la variabilité d'une saison et d'une année à l'autre, au niveau des écosystèmes et au niveau des espèces. De plus, les études d'impacts BACI (Before-After-Control-Impact), approches standards dans les EIE, tireraient avantage du fait d'inclure plus largement des échantillonnages d'effets liés qui se produisent à des distances pertinentes.

Les données de référence qui existent pour une zone marine influencent fortement la qualité de l'EIE, qui doit être prise en compte au cours des processus de sélection et d'autorisation du site.

Les EIE pour des parcs éoliens offshore se font à des échelles diverses, avec des portées différentes et une profondeur d'études variable. Ceci résulte d'un manque de normes nationales comparables et aussi des interprétations divergentes des exigences des EIE par les autorités qui doivent donner leur consentement. Pour éviter des approches arbitraires ou qui manquent de prudence, il faut développer des normes solides, scientifiquement fondées, et définir des seuils pour les évaluations d'impacts au niveau national et aussi, si possible, au niveau régional. De plus, il faut instaurer des lignes directrices internationales et des réseaux d'échanges d'informations (comme EMODNET – Réseau européen d'observation du milieu marin) pour minimiser les obstacles locaux et nationaux à la conduite et à la portée d'une EIE.

Il faudrait clarifier les critères pertinents sur lesquels se baseront des pronostics d'impacts. Les effets des populations, et surtout des sous-populations, sur des espèces sont essentiels dans les évaluations d'impacts et les processus d'agrégation. Cependant, il n'y a généralement pas d'accords régionaux ou nationaux sur les niveaux acceptables (ex. intensité d'impacts) ou sur des échelles (ex. population de référence à prendre en compte et distribution biogéographique affectée) de perturbation pour les espèces en question. Ces faiblesses doivent être corrigées au niveau national et transnational.

Des évaluations appropriées des effets cumulatifs

devraient être étayées par des données fournies au niveau des EES. Les informations sur les conditions environnementales à remplir pour réaliser des EES pour des constructions en mer sont pourtant encore trop limitées.

Les données de référence appropriées sur l'état de l'environnement marin, sur la distribution des espèces et des habitats sensibles, et sur les routes de migration des oiseaux, des poissons et des mammifères sont généralement très peu nombreuses par rapport aux demandes d'évaluations d'impacts. Il faudrait donc faire des recherches sur la distribution et l'abondance des espèces, portant sur des cycles annuels et sur la structure et le statut des populations, mais aussi développer des outils analytiques pour évaluer des écosystèmes et les effets en cascade.

Il faut aussi faire une recherche stratégique pour développer des indices de sensibilité spécifiques de chaque espèce en ce qui concerne les installations offshore d'énergie éolienne (ils n'existent pour le moment que pour les oiseaux) aux différentes étapes de la vie et dans différentes régions.

Plus de recherches seront aussi nécessaires sur les effets du bruit sur différentes espèces, ainsi que sur les mécanismes et les indices qui sous-tendent le comportement d'évitement des oiseaux, pour pouvoir développer au besoin des stratégies d'atténuation appropriées. C'est aussi le cas en ce qui concerne les impacts des champs électromagnétiques qui agissent comme des barrières dans la migration des poissons. De plus, il faudrait explorer plus avant les avantages potentiels de la fermeture de la pêche et de la fourniture d'habitats artificiels, sous-produits de

l'installation de parcs d'éoliennes.

5.4 Dernières conclusions

Au moment où l'industrie de l'énergie éolienne offshore s'étend dans le monde et continue à mûrir, les sociétés et les gouvernements vont pouvoir profiter de nouvelles expériences et connaissances en la matière.

Le suivi en cours sera crucial pour identifier dans quelle mesure les premières stratégies d'atténuation ont réussi à éviter ou à réduire les impacts sur l'environnement marin. Les nouvelles décisions pourront intégrer les derniers résultats et atténuer de nouvelles menaces. Il ne faut pas se priver de tirer les leçons d'autres processus, d'autres types d'installations (ex. des sites multi-usages au Japon). En menant des évaluations d'impacts rigoureuses alliées à une gestion environnementale systématique, l'industrie continuera à apprendre grâce à l'approche PDCA – Plan, Do, Check, Act (Planifier, Déployer, Contrôler, Améliorer) et pourra apporter des améliorations continues à ses pratiques et procédures. Grâce à une planification marine spatiale, les impacts cumulatifs et synergiques pourront être mieux gérés, et les impacts et opportunités pour tous les utilisateurs de la mer mieux pris en compte.

Les décisions en matière de planification et d'aménagement prises à ce stade du développement de l'énergie éolienne offshore créeront un précédent pour les installations futures, tant en Europe qu'ailleurs. Il est donc impératif que toute insuffisance dans les recherches et les connaissances soit comblée d'urgence.

6 Ressources supplémentaires

Si l'Annexe 1 du document complet donne d'importantes orientations scientifiques, la section ci-dessous a pour but de fournir des références concernant les ressources principales auxquelles se réfère le texte ci-dessus.

E.ON

- Rapport sur les énergies éoliennes offshore (en anglais): http://www.eon.com/content/dam/eon-com/en/downloads/e/EON_Offshore_Wind_Factbook_en_December_2011.pdf

Banque mondiale

En 2007, le Groupe de la Banque Mondiale (GBM) et la Société financière internationale (IFC) ont publié une nouvelle version de leurs lignes directrices en matière d'environnement, de santé et de sécurité. Celles-ci offrent des exemples généraux et spécifiques selon les secteurs de « Bonnes pratiques de l'Industrie internationale ». Les orientations industrielles à l'intention du secteur de la transmission et de la distribution de l'énergie électrique incluent de bonnes pratiques en matière d'énergie éolienne. Ces documents viennent compléter l'Environmental Assessment Resourcebook publié 10 ans plus tôt par le GBM.

- Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires générales – voir Les directives générales (document complet): http://www1.ifc.org/wps/wcm/connect/00dbdb8048855b7588f4da6a6515bb18/010_General%2BGuidelines.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=00dbdb8048855b7588f4da6a6515bb18
- ainsi que les Directives du Secteur industriel de la Transmission et la Distribution de l'énergie éolienne: http://www1.ifc.org/wps/wcm/connect/2c2bef8048865847b51ef76a6515bb18/053_Wind%2BEnergy.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=2c2bef8048865847b51ef76a6515bb18
- et celles concernant le transport et la distribution de l'électricité: http://www1.ifc.org/wps/wcm/connect/1a00aa0048855d788f0cdf6a6515bb18/004_Electric%2BPower%2BTransmission%2Band%2BDistribution.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1a00aa0048855d788f0cdf6a6515bb18

Livre source pour une évaluation environnementale (en anglais): <http://go.worldbank.org/LLF3CMS1I0>

Commission Européenne

Législation européenne concernant le développement offshore de parcs d'éoliennes, comme les Directives sur:

- La conservation des oiseaux sauvages: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1979:103:0001:0018:FR:PDF> ;
- Les habitats naturels ainsi que la faune et la flore sauvages: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0043:FR:html> ;
- L'EIE (l'évaluation des incidences de certains projets publics ou privés sur l'environnement) (Directive 85/337/CEE) ;
- L'EES (l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement) (Directive 2001/42/CE).

Association européenne de l'énergie éolienne (EWEA): <http://www.ewea.org>

EWEA (2009) Oceans of opportunity (en anglais): http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Offshore_Report_2009.pdf



UNION INTERNATIONALE POUR
LA CONSERVATION DE LA NATURE

SIÈGE MONDIAL
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Suisse
mail@iucn.org
Tel +41 22 999 00 00
Fax +41 22 999 0002
www.iucn.org

