



Rapport final du trajet de concertation des parties prenantes
octobre 2022 - juin 2023

Élaboration d'une vision sur le
**DÉMANTÈLEMENT DES PARCS
ÉOLIENS OFFSHORE**
dans la partie belge de la mer du Nord

Van Maele T. M., Desplenter N., Van Aken I., Degraer S.

Table des matières

PRÉFACE.....	4
GLOSSAIRE	5
INTRODUCTION	6
TRAJET	8
« Quel a été le trajet parcouru ? »	8
Kick-off	8
Réunions du groupe de travail actif	8
« De quoi parlons-nous ? »	10
1° Aperçu des parcs éoliens dans la partie belge de la mer du Nord	10
2° Initiatives antérieures pertinentes dans le cadre du démantèlement offshore	10
3° Options de démantèlement	12
En cas de démantèlement, quelles sont les options mentionnées dans le permis d'environnement ?	13
4° Opportunités et préoccupations	14
ÉVALUATION	15
« À quel scénario de démantèlement des parcs éoliens actuels dans la partie belge de la mer du Nord va la préférence ? »	15
ÉVALUATION DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE FONDATION MONOPIEU	15
CONSERVATION ET RESTAURATION DE LA NATURE	15
POLLUTION.....	19
CIRCULARITÉ	21
ASPECT FINANCIER.....	25
SÉCURITÉ.....	28
ÉVALUATION DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE FONDATION AUTRE QUE MONOPIEU	30
VISION	31
VISION en cas de REPOWERING	31
<i>Pourquoi le choix du « scénario reset » ?</i>	31
VISION relative à d'autres réaffectations	33
Avis sur les futurs parcs éoliens.....	34
Avis sur la Zone Princesse Elisabeth et la zone orientale	34
Avis sur la Zone Princesse Elisabeth.....	35
Liste des figures et des tableaux.....	38
ANNEXES	39
ANNEXE 1 - Organisations qui ont participé au groupe de travail actif Trajet de formation d'une vision sur le DÉMANTÈLEMENT DES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE dans la partie belge de la mer du Nord	39
ANNEXE 2 – initiatives en cours et prévues en matière de démantèlement d'installations offshore.	40

Publié par

Écologie et Gestion de la Mer (MARECO)

Écologie Aquatique et Terrestre (ATECO)

Direction opérationnelle Milieux naturels (DO Nature)

Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB)

Rue Vautier 29 | 1000 Bruxelles | Belgique

www.naturalsciences.be

mareco-odnature.naturalsciences.be

Service Milieu Marin

Service public fédéral Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement

Avenue Galilée 5/2 | 1210 Bruxelles | Belgique

<https://www.health.belgium.be/fr/notre-mer-du-nord>

À citer comme suit :

Van Maele T. M., Desplenter N., Van Aken I., Degraer S. (2023). Élaboration d'une vision DÉMANTÈLEMENT DES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE dans la partie belge de la mer du Nord Bruxelles : Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, DO Milieux naturels, Écologie et Gestion de la Mer, 41 pp.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les participants au trajet de concertation des parties prenantes Élaboration d'une vision DÉMANTÈLEMENT DES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE dans la partie belge de la mer du Nord, les représentants de l'industrie, du monde académique et politique, ainsi que le grand public.

PRÉFACE

Élaborer une vision par le biais d'une concertation avec des parties prenantes présente plusieurs avantages. Tout d'abord, cette façon de procéder permet de réunir les parties prenantes et de les faire dialoguer entre elles. Cela permet de mieux comprendre les points de vue et les préoccupations des uns et des autres et contribue à atteindre un consensus.

Un autre avantage est qu'en impliquant les parties prenantes dans le processus, il est plus probable que la vision élaborée corresponde aux besoins et aux attentes des différentes parties. Cela permet une adhésion plus importante à la vision élaborée et d'identifier les obstacles et les intérêts contradictoires potentiels et de s'y atteler dès un stade précoce.

En outre, le fait d'impliquer les parties prenantes dans le processus peut aussi mener à un plus grand engagement de leur part et à une meilleure appropriation de la vision. Cela peut faciliter la mise en œuvre de la vision et en accroître le succès.

En résumé, l'élaboration d'une vision basée sur une concertation avec les parties prenantes peut contribuer à une vision politique plus soutenue, plus réalisable et plus efficace.

~

Ce rapport reflète les résultats du trajet de concertation des parties prenantes sur les options concernant le démantèlement des parcs éoliens offshore dans la partie belge de la mer du Nord, une initiative du vice-premier ministre et ministre de la Justice et de la mer du Nord, Vincent Van Quickenborne.

L'objectif de ce trajet était de découvrir ce que les parties prenantes pensent de la question du démantèlement, d'identifier les points sur lesquels les parties prenantes sont d'accord et ceux sur lesquels elles ne le sont pas, et, sur la base de ces résultats, de remettre à la politique des avis sur le démantèlement des parcs éoliens offshore belges. Pour démanteler l'infrastructure, il existe plusieurs options, notamment pour les fondations, les couches de protection contre l'érosion et les câbles. Les fondations peuvent être entièrement ou partiellement enlevées ou rester entièrement sur place. Les couches de protection contre l'érosion et le câblage peuvent être enlevés ou rester sur place. Les avantages et les inconvénients des différentes options ont été discutés au cours d'une concertation ouverte et transparente, dans le but de parvenir à un consensus. Là où les parties n'ont pas pu parvenir à un consensus, les différents points de vue exprimés sont exposés.

La concertation a pu compter sur une large participation du public, avec des représentants de l'industrie, du monde académique et politique et du secteur public. Compte tenu de la diversité des profils et des compétences des participants, cette analyse ne peut en aucun cas être considérée comme une analyse écologique, technique, juridique et/ou socioéconomique détaillée. Ce rapport se veut une source d'information et d'inspiration pour les autorités fédérales.

Tine Miet Van Maele & Steven Degraer

Institut royal des sciences naturelles de Belgique (ISRN)

Nele Desplenter & Ingrid Van Aken

Service Milieu marin

SPF Santé publique, Sécurité de la
Chaîne alimentaire et Environnement

GLOSSAIRE

- **Déchets** - définition juridique de la directive relative aux déchets (2008/98/CE), article 3.1 : toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire
- **Monopieu** - définition de Wiktionary : fondation constituée d'un seul élément structurel, généralement de grand diamètre, qui supporte la totalité de la charge d'une grande structure en surface ;
- **Démantèlement** - actions entreprises en fin de cycle de vie des infrastructures ;
- **Recycler /recyclage** - définition juridique de la directive relative aux déchets, article 3.17" : toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage.
- **Repowering** - réutilisation de la zone pour la production d'électricité à partir de sources renouvelables ;
- **Reconditionnement** - définition tirée du projet Interreg NSR DecomTools – Beleidsaanbevelingen voor de ontmanteling van offshore en onshore windturbines in België (Recommandations stratégiques pour le démantèlement des éoliennes offshore et onshore en Belgique) : le remplacement de certaines pièces de l'éolienne sans toutefois modifier les caractéristiques extérieures de l'éolienne. La prolongation de la durée de vie de l'éolienne n'implique pas de travaux, à l'exception des travaux de maintenance habituels ;
- **Pollution** - définition tirée de l'article 3.4° de la loi sur l'environnement marin de 2022 et de la convention OSPAR : introduction directe ou indirecte dans les fonds marins, la colonne d'eau et l'atmosphère de substances, de matières, d'énergie, y compris le bruit sous-marin, ou d'espèces non indigènes, résultant d'activités humaines qui causent ou sont susceptibles de causer des dommages ;
P. ex. :
 - danger pour la santé de l'homme,
 - dommages causés aux ressources vivantes et aux écosystèmes marins,
 - altération des possibilités de loisirs,
 - entrave à d'autres utilisations légitimes de la mer.

INTRODUCTION

Les parcs éoliens de la mer du Nord sont importants pour notre approvisionnement en énergie. La première zone d'éoliennes dans la partie belge de la mer du Nord, développée entre 2008 et 2020, représente une capacité installée de 2,2 gigawatts. Face aux grands défis du réchauffement climatique et de la transformation énergétique, l'approvisionnement en énergie à partir de la mer va augmenter de manière significative.

D'ici 2028-2029¹, les premières éoliennes, y compris les interconnexions avec l'étranger, devraient apparaître dans une deuxième zone d'énergie renouvelable dans la partie belge de la mer du Nord, la Zone Princesse Elisabeth, en partie dans des zones Natura 2000. L'objectif est d'y obtenir une puissance de crête supplémentaire de minimum 3,15 et maximum 3,5 gigawatts. Cet objectif permettra, au plus tard en 2030, d'arriver à la puissance de crête de 5,4 à 5,8 gigawatts d'énergie éolienne offshore proposée dans l'accord de gouvernement.

Depuis le port d'Ostende, la Belgique figure parmi les leaders mondiaux en matière d'installation et d'exploitation de parcs éoliens offshore. Elle sera également le premier pays à placer des éoliennes dans des zones marines naturelles. Entre-temps, le démantèlement de la première génération d'éoliennes approche. On ne saurait trop insister sur l'importance d'une concertation étroite, tant au niveau national qu'international, sur le démantèlement des parcs éoliens offshore.

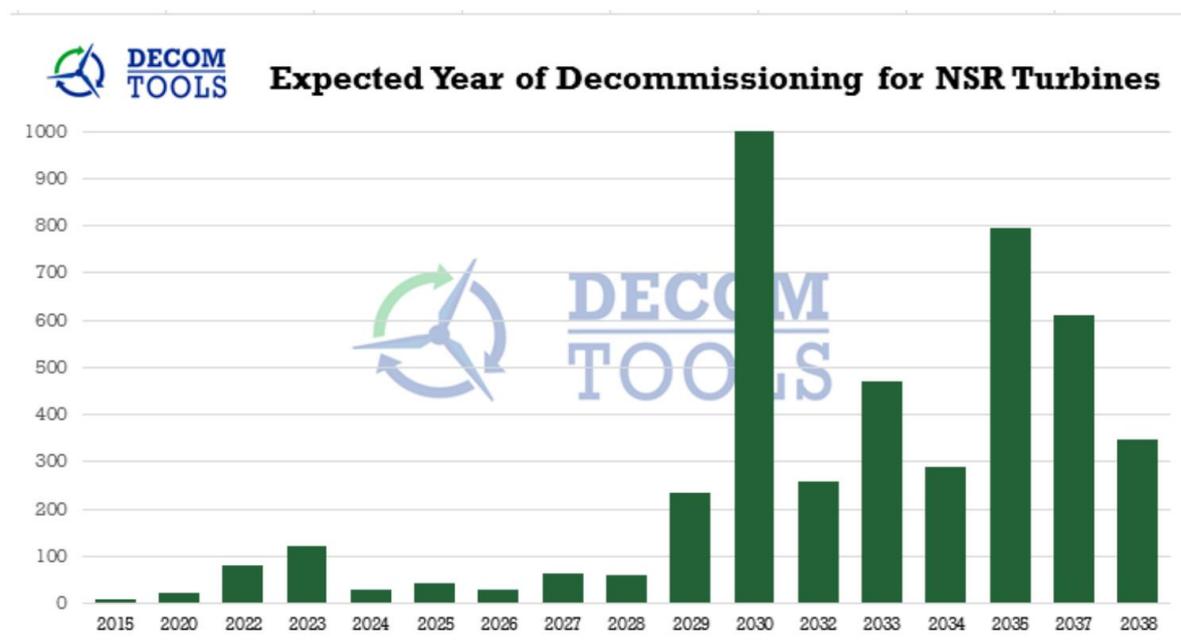


Figure 1 - Année prévue pour le démantèlement des éoliennes en mer du Nord (DecomTools - projet Interreg - 2019)

La concession de domaine du tout premier parc éolien offshore de Belgique, à savoir C-Power, expire le 31 décembre 2034², mais peut être prolongée une nouvelle fois sous réserve de l'approbation des administrations compétentes. Dans le cadre législatif actuel, le démantèlement devrait être achevé au plus tard à la mi-2039.

¹ Extrait de : Consultation publique 2023-02-28 - voir [SPF Économie](#).

² Extrait de : Journal officiel 2014-01-27 - Permis d'environnement - Prolongation - voir [UGMM](#).

Tout comme l'installation des premiers parcs éoliens offshore a été pionnière, leur démolition le sera également. En outre, beaucoup de temps s'est écoulé depuis le démarrage et de nombreuses questions se posent sur ce processus de démantèlement progressif. D'une part, les nouvelles technologies se développent à une vitesse fulgurante et, d'autre part, les idées et les connaissances concernant l'interaction entre les parcs éoliens et la biodiversité évoluent.

Que ce soit en termes de techniques, de matériaux nécessaires ou de prix de revient, de nombreuses nouvelles options sont en cours de développement et pourraient s'avérer utiles lors du démantèlement d'un parc éolien. En particulier, mais pas seulement, la recherche se poursuit pour trouver des solutions de fin de vie pour les pales et des moyens de retirer du sol les fondations monopieu dans leur intégralité. De nombreuses recherches sont également menées sur la conception circulaire et respectueuse de la nature des éoliennes.

En outre, sous réserve d'une modification de la loi, il est envisagé de laisser en place des parties de (certaines) éoliennes et de leur donner une nouvelle destination. Les structures conservées pourraient servir, par exemple, à l'extraction d'hydrogène (en connexion avec de nouvelles éoliennes), à d'autres technologies énergétiques (panneaux solaires flottants, énergie houlomotrice ou marémotrice) ou encore à l'aquaculture. À cette fin, il convient, dans un premier temps, de répondre aux questions relatives à l'opportunité et aux incidences sur l'écosystème marin, la sécurité et la responsabilité.

En ce qui concerne la biodiversité, la recherche³ montre qu'une biodiversité sous-marine supplémentaire a été créée à l'intérieur et autour des parcs éoliens offshore, ce que l'on appelle l'effet récif artificiel⁴. Les nouveaux substrats durs fournis par les parcs éoliens offshore sont envahis par toutes sortes d'organismes. Ce récif artificiel abrite une faune sous-marine très riche en invertébrés vers lequel diverses espèces de poissons sont attirées par la quantité croissante de nourriture. Certaines espèces d'oiseaux, comme les sternes, et de mammifères marins, comme les phoques, bénéficient également de la nourriture enrichie fournie par le récif artificiel nouvellement créé. L'effet récif artificiel implique une modification significative de l'écosystème initialement présent.

Pour plus d'informations et un bref aperçu du contexte de la politique, de l'utilisation de l'espace, des incidences environnementales, de l'utilisation durable et de la situation socio-économique du secteur éolien offshore belge, voir le [texte thématique Énergie \(y compris les câbles et les conduites\) du Compendium voor Kust en Zee](#).

³ Degraer, S., D.A. Carey, J.W.P. Coolen, Z.L. Hutchison, F. Kerckhof, B. Rumes & J. Vanaverbeke (2020). Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning: A synthesis. *Oceanography*, 33:48-57.

⁴ L'effet de récif artificiel indique l'effet écologique en tant que conséquence directe et indirecte de l'introduction d'infrastructures, c'est-à-dire les fondations et les couches de protection contre l'érosion.

TRAJET

« Quel a été le trajet parcouru ? »

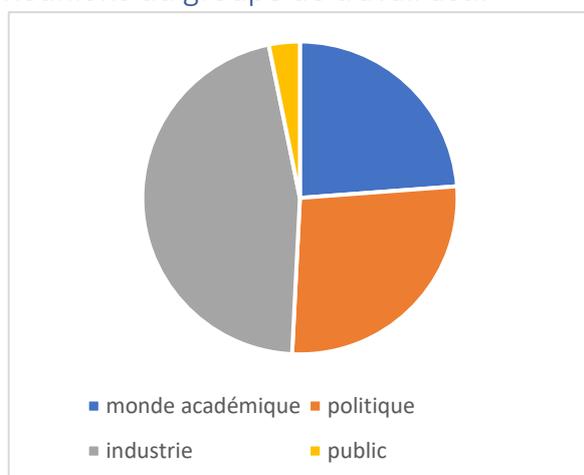
Kick-off

Pour parvenir à une vision la plus large possible du démantèlement des parcs éoliens offshore en mer du Nord belge, des acteurs du monde académique et politique, de l'industrie et du secteur public ont été invités. Quelque 120 personnes intéressées se sont inscrites, dont environ 70 étaient présentes le 18 octobre 2022 lors du lancement à Bruges du trajet de concertation des parties prenantes sur le démantèlement des parcs éoliens. Pendant le kick-off, une première enquête a été menée auprès des parties prenantes sur les opportunités et les préoccupations liées au démantèlement des parcs éoliens. Le plan d'action et le calendrier de ce trajet ont été expliqués et mis à jour au cours de cette réunion (figure 1).



Figure 2 - Plan d'approche et calendrier du trajet de concertation des parties prenantes

Réunions du groupe de travail actif



Lors des quatre réunions suivantes, un groupe de travail actif plus restreint, composé d'une quarantaine de personnes, a travaillé sur ce sujet.

Les participants à ce groupe de travail se répartissent à peu près équitablement entre le monde académique, le monde politique et l'industrie (figure 2).

Au total, 39 organisations ont été impliquées dans le processus (annexe 1). Le secteur public est représenté (uniquement) par 4Sea, une coalition de cinq associations flamandes de protection de la nature.

Figure 3 - Répartition des participants au groupe de travail actif sur le démantèlement des parcs éoliens offshore

Au cours de chaque réunion, la réflexion a d'abord porté sur les résultats du moment de concertation précédent et il a ensuite été débattu en petits groupes sur l'étape suivante avant de discuter des nouvelles conclusions en séance plénière. Les résultats ont été présentés sous forme de texte ou de tableau et diffusés au sein du groupe de travail pour être vérifiés et complétés.

Les différents thèmes abordés lors des réunions sont les suivants :

- Lister les projets de démantèlement (terminés et en cours)
- Préciser l'objectif du trajet de concertation des parties prenantes
- Décider de la pertinence de parler également de repowering et/ou de recyclage
- Définir ce que signifient le court terme et le long terme dans le cadre de ce rapport de vision
- Examen des différentes options de démantèlement des fondations monopieu
- Faire ressortir les opportunités et les préoccupations et les organiser en fonction d'un thème.
- Évaluer les options par thème
- Identifier les lacunes en matière de connaissances qui apparaissent chez les parties prenantes
- Évaluation de l'importance des opportunités et des préoccupations au sein des thèmes. Étude d'autres réaffectations si le repowering n'était pas choisi
- Étude des éventuelles différences au niveau du démantèlement entre les fondations gravitaires⁵ et les fondations jacket
- Formuler des avis destinés aux autorités
- Élaborer une vision à long terme pour les parcs éoliens qui doivent encore être (re)construits dans la zone orientale (si l'on opte pour le repowering) et pour les futurs parcs éoliens dans la Zone Princesse Elisabeth.

La discussion qui a eu lieu lors de la réunion de kick-off a rapidement montré que le démantèlement ne peut pas être dissocié du repowering. Le repowering a été défini ici comme la réutilisation de la zone pour la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, et donc pas le reconditionnement ou la réutilisation des fondations par l'installation de nouveaux poteaux (ou pylônes) avec nacelle et pales. D'autres réaffectations, notamment la désignation de zones de pêche, d'espaces naturels, de zones d'extraction de sable, etc. ont également été discutées.

Deux échéances ont été distinguées : le futur proche et le futur plus lointain. Une vision sur le démantèlement des parcs éoliens actuels dans la zone orientale devrait être formée dans un avenir proche. D'autre part, les nouvelles connaissances peuvent conduire à des suggestions pour les parcs éoliens qui doivent encore être (re)construits et avoir ainsi des incidences sur le démantèlement dans un avenir plus lointain.

⁵ Aussi appelées « *gravity-based foundations* » (GBF).

« De quoi parlons-nous ? »

1° Aperçu des parcs éoliens dans la partie belge de la mer du Nord

En mer du Nord belge, trois types de fondations ont été utilisés pour les 399 éoliennes actuelles (tableau 1) dans la zone orientale : six fondations gravitaires (ou cônes de béton remplis de sable), 49 fondations jacket (ou structure métallique en treillis sur des pieux ancrés dans le fond marin) et les 344 fondations monopieu (ou cylindres d'acier ancrés directement dans le fond marin ; également appelées monopieux).

Tableau 1 - Aperçu des parcs éoliens ; informations tirées du [rapport](#) WinMon.BE 2022 et du [site web de](#) Belgian Offshore Platform.

Projet	#	Capacité (MW)	Type de fondation	Diamètre du rotor en m	Hauteur du moyeu en m LAT ⁶	Capacité totale en MW	Opérationnel depuis	Profondeur LAT ⁷ en m	Diamètre	Distance jusqu'à la côte
Norther	44	8.4	monopieu	164	107	370	2019	20-35	8-9 m	23
C-Power	phase 1	6	5	gravitaire	126	94	2009	14-18	N.a.	30
	phases 2 et 3	48	6.2	jacket	126	94	2013			
Rentel	42	7.4	monopieu	154	106	309	2019	22-36	8 m	34
Northwind	72	3	monopieu	90	72	216	2014	16-29	6-7 m	37
SeaMade = Mermaid + Seastar	58	8.4	monopieu	167	109	487	2020	24,4 - 39,5	8,3	54
								22-38		40
Belwind	phase 1	55	3.1	monopieu	90	72	2011	15-37	4,3	49
	Alstom Demo	1	6	jacket	150	100	2013		N.a.	
Nobelwind	50	3.3	monopieu	90	72	165	2017	26-38	6-7	47
Northwester 2	23	9.5	monopieu	164	106	219	2020	25-40	8-9	51

2° Initiatives antérieures pertinentes dans le cadre du démantèlement offshore

Le projet de recherche interdisciplinaire [SeeOff](#) (01/11/2018 - 30/04/2022), dirigé par la Hochschule Bremen, a donné lieu à un manuel sur les conditionnalités, la technologie, la logistique, les processus, les scénarios et la durabilité du démantèlement des parcs éoliens offshore.

⁶LAT (lowest astronomical tide) = marée astronomique minimale.

⁷ La profondeur LAT est la distance verticale minimale entre la surface et le fond de la mer au point le plus bas de la marée.

En novembre 2020, WindEurope a publié un document d'orientation pour l'industrie terrestre [Decommissioning of Onshore Wind Turbines - Industry Guidance Document](#), qui contient également des informations intéressantes pour l'industrie offshore.

« [DecomTools](#) (Interreg North Sea Region project) » (01/08/2018-31/01/2023) dans lequel le POM West-Vlaanderen et le Port d'Ostende sont tous deux partenaires, s'est mis à la recherche de nouveaux processus et outils dans les domaines de la logistique, de la conception des navires, de la sécurité et du recyclage valorisant et du recyclage. Cela a débouché sur une première impulsion, tant en termes de recommandations politiques que de développement de concepts et d'outils pour le secteur.

En ce qui concerne les incidences des parcs éoliens offshore sur la biodiversité dans les eaux belges, les [rapports de WinMon.BE](#) et le site web dédié sur la surveillance des parcs éoliens contiennent de nombreuses informations, également pertinentes pour le démantèlement. En outre, par le biais de 25 études, [l'étude EDEN2000](#), « *Exploring options for a nature-proof Development of offshore wind farms inside a Natura 2000 area* », a contribué de manière substantielle à combler plusieurs lacunes dans les connaissances scientifiques concernant les incidences des parcs éoliens offshore sur la biodiversité, dont certaines peuvent être pertinentes dans le cadre du démantèlement.

En février 2023, il a été rapporté que l'entreprise [VESTAS](#) a trouvé une solution aux 10 à 15 % d'éoliennes existantes actuellement non recyclables grâce au projet [CETEC](#) (*Circular Economy for Thermosets Epoxy Composites*). Selon ce projet pilote, il est possible, dans un délai de trois ans, de [retraiter les composites en utilisant des fibres réutilisables et de l'époxy recyclé](#) et d'atteindre la même qualité que les nouveaux composites, entre autres, par thermosolvolyse.

La liste ci-dessous présente un certain nombre d'études visant à mettre au point des techniques permettant d'éliminer complètement les monopieux. Même s'ils ne sont pas encore en mesure de s'attaquer à grande échelle aux éoliennes offshore plus grandes et plus profondes, cela montre que les premières étapes ont déjà été franchies.

- [Marteau vibrant Cape Holland](#)
 - Testé sur un petit monopieu du parc éolien Amalia aux Pays-Bas, qui avait déjà subi les conditions difficiles de la mer du Nord pendant trois ans.
- [Marteau vibrant Dieseko](#)
 - Cette référence concerne des pieux relativement petits et un « petit » marteau vibrant.
 - Entre-temps, une nouvelle installation quatre fois plus grande a été construite par la société belge De Meyer.
- [IQIP Blue Hammer](#)
 - Blue Hammer est une petite startup qui a mis au point ce concept unique de marteau de battage de pieux. Lors de l'essai du marteau de battage, plusieurs pieux ont été placés et ensuite retirés. Une nouvelle technique a été mise au point pour retirer le pieu : le pieu est hermétiquement fermé au sommet, rempli d'eau, puis poussé hors du sol en appliquant une pression supplémentaire à l'eau.

L'annexe 2 donne un aperçu des initiatives en cours et prévues en matière de démantèlement des installations offshore.

3° Options de démantèlement

Pour démanteler l'infrastructure des parcs éoliens offshore, il existe plusieurs options, notamment pour les fondations, les couches de protection contre l'érosion et le câblage. Les fondations peuvent être entièrement ou partiellement enlevées ou rester entièrement sur place. Les couches de protection contre l'érosion et le câblage peuvent être enlevés ou rester sur place.

Comme la majorité des éoliennes dans la partie belge de la mer du Nord sont sur des monopieux le démantèlement des monopieux a, dans un premier temps, été examiné plus en détail, puis dans un deuxième temps, la question de savoir s'il était différent pour les autres types de fondations et le cas échéant, en quoi il était différent a été examiné.

Les options de démantèlement des monopieux, de la protection contre l'érosion⁸ et du câblage ont été délibérément évaluées séparément. De cette manière, la flexibilité est maximale pour choisir un scénario de démantèlement en combinant les différentes options.

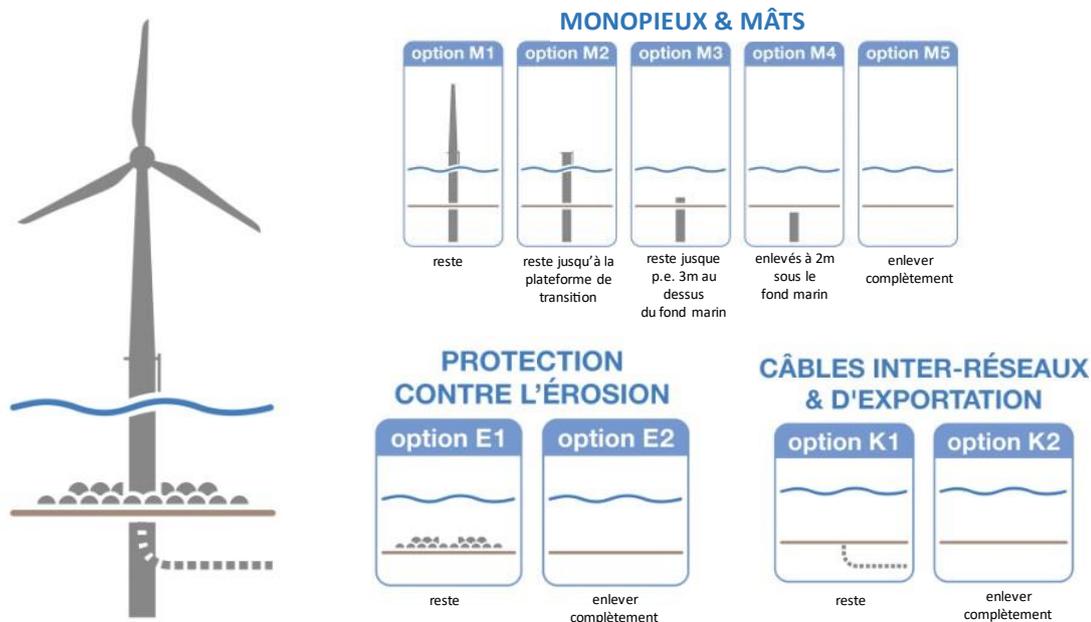


Figure 4 - Options de démantèlement des monopieux

⁸Également appelée *protection contre l'affouillement* ; dans la mer du Nord belge, consiste à déverser des pierres.

En cas de démantèlement, quelles sont les options mentionnées dans le permis d'environnement ?

Chaque permis d'environnement, appelé « arrêté ministériel concernant l'octroi d'une autorisation pour la construction et le permis pour l'exploitation », contient (dans des termes à peu près identiques pour les différents parcs éoliens) les dispositions suivantes sur le démantèlement :

« Le titulaire est tenu de remettre le site dans son état initial conformément à l'article 30 de l'AR PEAU, sauf si, après concertation entre les administrations concernées et le titulaire sur avis de l'administration, le ministre en décide autrement. Au plus tard un an avant le démantèlement prévu, le plan de reconstitution doit être soumis à l'administration ».

« Le titulaire est tenu de respecter les conditions d'utilisation énumérées à l'annexe I du présent arrêté, conformément à l'article 26 de l'AR PEAU. »

L'article 26 de l'AR PEAU (Arrêté royal du 7 septembre 2003 établissant la procédure d'octroi des permis et autorisations requis pour certaines activités exercées dans les espaces marins sous juridiction de la Belgique) stipule : *« Le ministre peut rattacher à l'usage du permis ou de l'autorisation toute condition d'application qu'il juge nécessaire à la protection du milieu marin. »*

L'article 30 de l'AR PEAU stipule : *« Le ministre peut imposer des conditions qui doivent être remplies au terme de l'activité ».*

Dans les conditions d'utilisation, chaque permis d'environnement stipule, à peu près dans les mêmes termes :

« ...

Au terme du permis et/ou de l'autorisation ou au moment de l'arrêt de l'activité, les administrations compétentes doivent être informées par le titulaire de ses intentions et de ses propositions. Le titulaire doit constituer les ressources financières nécessaires pour retirer les câbles après la phase d'exploitation et remettre le site dans son état d'origine dans la mesure du possible (y compris l'enlèvement du pylône de mesures anémométrique, des plateformes de transformateurs et de la protection contre l'érosion).

...

Les pylônes doivent être coupés à 2 mètres sous le fond marin. Il faut néanmoins tenir compte de l'érosion dans la zone. Si l'administration estime que les pylônes doivent être coupés à une distance plus grande que celle indiquée ici pour tenir compte de l'érosion dominante, elle se réserve le droit de proposer au ministre d'autres normes à cet égard.

Les câbles doivent être entièrement excavés/enlevés. Si l'utilisation des câbles est prolongée, par le titulaire ou tout autre utilisateur, cette extension doit faire l'objet d'une nouvelle demande conformément à la loi et à ses arrêtés d'exécution.

... »

4° Opportunités et préoccupations

Les opportunités et les préoccupations qui ont émergé autour du démantèlement des parcs éoliens dans la partie belge de la mer du Nord peuvent être regroupées sous plusieurs thèmes :

- Conservation et restauration de la nature
- Pollution
- Circularité (réduire, réutiliser, recycler)
- Aspect financier
- Sécurité
- Utilisation future
(repowering, aquaculture, pêche, tourisme, site de recherche et d'essai, extraction de sable, réserve marine)
- Aspect administratif/juridique

Pour évaluer les différentes options de démantèlement, les thèmes de la conservation et de la restauration de la nature, de la pollution, de la circularité, de l'aspect financier et de la sécurité ont été pris comme point de départ. Chaque thème comprend plusieurs éléments qui ont formé le fil conducteur de l'évaluation, une par une, des différentes options de démantèlement. Les résultats de cet exercice ont servi de base à l'élaboration du scénario privilégié proposé.

ÉVALUATION

« À quel scénario de démantèlement des parcs éoliens actuels dans la partie belge de la mer du Nord va la préférence ? »

ÉVALUATION DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE FONDATION MONOPIEU

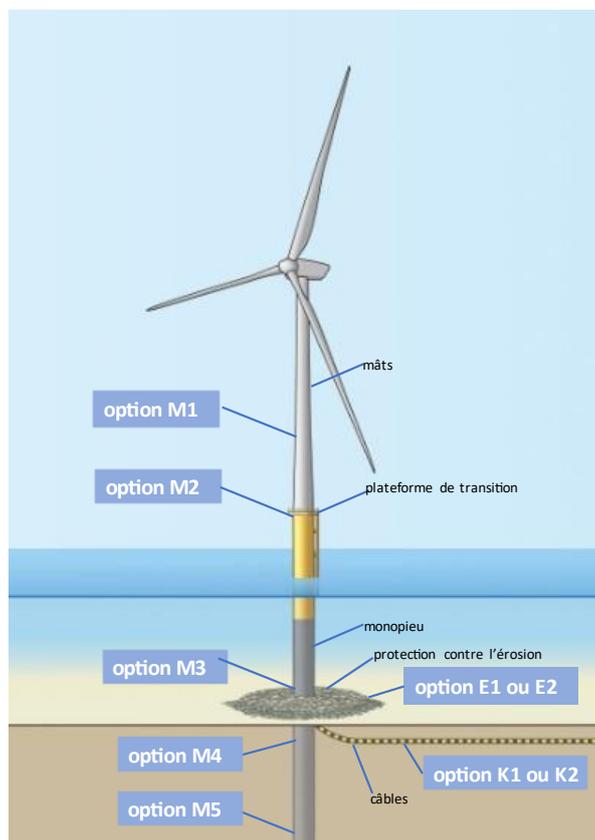


Figure 5 - Parties d'un monopieu et options pour le démantèlement

CONSERVATION ET RESTAURATION DE LA NATURE

Nature d'origine

La nature d'origine de la zone orientale du parc éolien comprend un écosystème essentiellement lié à des bancs de sable dynamiques. La biodiversité benthique est adaptée à la vie dans, sur et au-dessus de sédiments perméables, moyennement à grossièrement sableux, structurés par des dunes et des crêtes de sable (Van Hoey *et al.*, 2004⁹; Breine *et al.*, 2018¹⁰).

⁹ Van Hoey, G., Degraer, S. & Vincx, (2004). Macrobenthic communities of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59: p. 601-615.

¹⁰ Breine, N. T., De Backer, A., Van Colen, C., Moens, T., Hostens, K. & Van Hoey, G. (2018). Structural and functional diversity of soft-bottom macrobenthic communities in the Southern North Sea, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 214: p. 173-184.

Les parcs éoliens offshore entraînent une perte d'habitat et une perturbation de l'habitat de la nature d'origine. La perte d'habitat est liée à l'espace occupé par l'infrastructure et se limite à l'empreinte et aux environs immédiats (à l'échelle du mètre) de cette infrastructure. La perturbation de l'habitat est liée aux changements physiques et biologiques résultant de l'effet des récifs artificiels.

Les structures artificielles introduites par les parcs éoliens sur le fond marin et dans la colonne d'eau modifient le climat hydrodynamique à l'intérieur du parc éolien. En conséquence, des changements - épaissement et raffinement - se produisent dans la composition des sédiments. Ces changements sont particulièrement visibles à proximité immédiate (à l'échelle de quelques dizaines de mètres) des fondations et des couches de protection contre l'érosion.

La composition des sédiments est encore modifiée par l'activité de la faune vivant sur les fondations et la protection contre l'érosion. Cette faune filtre les nutriments de la colonne d'eau et les utilise pour la croissance et la reproduction. Les déchets sont excrétés sous forme de boulettes fécales qui coulent au fond de la mer, affinant et enrichissant les sédiments d'origine avec de la matière organique. Ce raffinement et cet enrichissement organique sont observés jusqu'à des dizaines de mètres des turbines et des couches de protection contre l'érosion (Coates *et al.*, 2014¹¹) et il existe des preuves qu'ils s'étendent à l'ensemble des parcs éoliens et à plusieurs kilomètres au-delà (Ivanov *et al.*, 2021¹²). Ces changements d'habitat se traduisent par une modification de la faune benthique. Pour de plus amples informations, voir [FaCE-It](#), [PERSUADE](#).

DONC, pour la nature d'origine, le démantèlement complet est préférable car il permet de restaurer les conditions hydrodynamiques originales et les sédiments présents à l'origine avec leur faune associée.

Si l'on opte pour le repowering, la zone étant réoccupée par des structures différentes, des changements hydrodynamiques à long terme ainsi que la perte et la perturbation de l'habitat se produiront à nouveau. C'est une raison de plus pour supprimer le plus grand nombre possible de structures afin de minimiser l'impact négatif sur la nature originale et en devenir.

Le substrat meuble naturel sera toutefois perturbé localement lorsque l'infrastructure sera complètement enlevée. Toutefois, la faune caractéristique de ces écosystèmes dynamiques se reconstitue rapidement. On s'attend donc à ce que les incidences ne soient plus détectables déjà à court terme (échelle de quelques années). Dans ce cas, le stockage du carbone dans les sédiments sera lui aussi perdu localement.

DONC, la faune originelle se rétablit rapidement après une courte perturbation localisée, survenant une fois tous les 25-30 ans, au cours du démantèlement.

¹¹ Coates, D. A., Deschutter, Y., Vincx, M., Vanaverbeke, J. (2014). Enrichment and shifts in macrobenthic assemblages in an offshore wind farm area in the Belgian part of the North Sea, *Marine Environmental Research*, Volume 95, 2014, p. 1-12,

¹² Ivanov, E., Capet, A., De Borger, E., Degraer, S., Delhez, E.J.M., Soetaert, K., Vanaverbeke, J., Grégoire, M. (2021). Offshore wind farm footprint on organic and mineral particle flux to the bottom. *Frontiers in Marine Science*.

Par ailleurs, les effets indirects générés par l'empêchement de certaines utilisations conjointes pourraient constituer une raison de préserver des parties de structures au-dessus du fond. En effet, la présence des structures, sous réserve de certaines conditionnalités restrictives (notamment la distance entre les turbines et les emplacements des éoliennes, les couches de protection contre l'érosion et le câblage), exclura certaines autres activités, telles que l'extraction de sable et la pêche qui perturbe le fond marin. L'exclusion des activités de pêche qui perturbent le fond marin permet de préserver, de protéger et de restaurer la biodiversité originale des bancs de sable dynamiques où l'habitat n'a pas été perdu ou perturbé. L'exclusion permanente des activités qui perturbent le fond marin garantira en outre le maintien du stockage du carbone lié, entre autres, à l'enrichissement organique dû à l'effet de récif artificiel (Heinatz & Scheffold, 2023¹³). Mais autoriser ou non des activités doit relever, de préférence, d'un choix politique lié à la réglementation et ne peut pas constituer une raison en soi de placer et/ou d'abandonner des structures.

Cependant, après le repowering, les restrictions concernant les activités de pêche qui perturbent le fond marin seront maintenues (avec ou sans effet immédiat), de sorte que les incidences positives de cette exclusion sur la faune et la flore et sur le stockage du carbone dans l'ensemble des parcs éoliens se manifesteront déjà à ce moment-là.

Nouvelle nature

La biodiversité créée par la présence des parcs éoliens est considérée comme une nouvelle nature et est essentiellement liée directement ou indirectement à l'effet de récif artificiel.

Sur les éoliennes et la couche de protection contre l'érosion qui les entoure, on trouve comme nouvelle nature, principalement des espèces très communes telles que la moule *Mytilus edulis*, l'anémone de mer *Metridium senile* et la langouste *Jassa herdmani* (Degraer *et al.*, 2020). Elles contribuent peu à la valeur naturelle intrinsèque, telle qu'elle est définie dans les conventions et directives internationales et européennes (directives Habitats et Oiseaux, loi européenne sur la restauration de la nature « en préparation », le statut de protection ...) et telle qu'elle est poursuivie dans la [vision politique fédérale actuelle](#) en matière de conservation, de protection et de restauration de la nature marine.

Ces espèces très communes constituent une source alimentaire importante pour les niveaux trophiques supérieurs, y compris les espèces (commerciallement importantes) telles que la morue *Gadus morhua* et la plie *Pleuronectes platessa*, qui semblent être présentes en plus grand nombre à proximité des éoliennes (Mavraki, 2020 ; Buyse, 2023). Le fait qu'il y ait plus de possibilités d'abri dans les parcs éoliens joue certainement un rôle dans ces chiffres plus élevés. En outre, il n'est pas encore prouvé que ces effets positifs locaux se traduisent également au niveau de la dynamique de la population de ces espèces à une échelle géographique plus large et sur une période plus longue.

Les parcs éoliens sont aussi souvent considérés comme des éclosiers. De petites morues (0 an) ont été observées près des éoliennes (données non publiées, Jan Reubens), mais leur valeur relative en tant que nurserie ne peut pas encore être estimée. Il pourrait tout aussi bien s'agir de quelques

¹³ Heinatz, K. & Scheffold, M. I. E. (2023). A first estimate of the effect of offshore wind farms on sedimentary organic carbon stocks in the Southern North Sea. *Frontiers in Marine Science*, 16 January 2023, Sec. Global Change and the Future Ocean, Volume 9 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1068967>,

individus trouvant un habitat dans les parcs éoliens, alors que la grande majorité des cabillauds juvéniles se trouvent à l'extérieur de ces parcs.

Ces valeurs ajoutées sont liées aux services écosystémiques « approvisionnement en nourriture » et « qualité de l'eau », plutôt qu'à la valeur ajoutée intrinsèque de la nature et de la biodiversité.

La connectivité dans le sud de la mer du Nord, caractérisée par de forts courants, est très élevée. Toutes les études déjà réalisées par exemple sur les moules *Mytilus edulis* et la patelle *Patella vulgata* (De Mesel *et al.*, données non publiées, Coolen *et al.*, 2020) indiquent clairement que le sud de la mer du Nord est bien connecté étant donné que les larves de ces espèces peuvent parcourir de longues distances (jusqu'à plus de 100 kilomètres). Par conséquent, l'option de démantèlement choisie aura un effet négligeable sur ce que l'on appelle l'effet de tremplin.

Les effets liés à l'augmentation locale de l'offre alimentaire et à l'accroissement des possibilités d'habitat, d'abri et de repos se manifestent dès plusieurs mois ou années après la construction du parc éolien (Degraer *et al.*, 2020). Lors du démantèlement dans le cadre du repowering, le substrat dur sera reconstitué afin que ces habitats supplémentaires, ces abris et ces possibilités de repos se rétablissent très rapidement. En outre, tous les parcs éoliens ne sont pas démantelés et renouvelés en même temps, de sorte que le substrat artificiel présent dans le voisinage sera systématiquement remplacé.

Si on constate que la nouvelle nature a un effet à long terme sur une plus grande échelle géographique au niveau de l'approvisionnement en denrées alimentaires, il semble que, lors du démantèlement, il soit préférable de laisser le plus grand nombre possible de structures.

Seulement, la valeur ajoutée de la nouvelle nature n'est pas celle recherchée dans le cadre de la conservation de la nature. En outre, tout ne sera pas démantelé en même temps et, lors du repowering, la nouvelle nature se redéveloppera rapidement en raison de sa grande connectivité.

DONC pour la nouvelle nature, l'effet positif de laisser le substrat dur en place diffère très peu de celui lié au repowering ultérieur avec des éoliennes. Quoi qu'il en soit, cet éventuel avantage ne compense pas les nombreux inconvénients dans d'autres domaines, décrits plus loin.

Les parcs éoliens, en tant que nouvelle nature, favorisent également l'apparition d'espèces non indigènes indésirables. Ces espèces non indigènes se rencontrent principalement sur des substrats durs dans la zone intertidale (Kerckhof *et al.*, 2016¹⁴). Étant donné que les habitats intertidaux sur substrat dur dans la zone offshore sont naturellement absents dans la partie belge de la mer du Nord et, par extension, dans le sud de la mer du Nord, le risque de perturbation des processus naturels par ces espèces est négligeable. Un grand nombre de ces espèces sont également connues pour être présentes sur les môles, les jetées et les plateformes offshore, entre autres.

Dans la zone subtidale, un certain nombre d'espèces non indigènes sont également présentes dans la zone offshore, mais elles sont beaucoup moins nombreuses. On les trouve sur les épaves, les lits de

¹⁴ Kerckhof, F., De Mesel, I., Degraer, S. (2016). Do wind farms favour introduced hard substrata species?, in: Degraer, S. *et al.* (Ed.) *Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Environmental impact monitoring reloaded*. pp. 61-75

gravier et d'autres substrats durs naturels et non naturels. Étant donné que ces espèces sont déjà largement répandues, les parcs éoliens contribuent peu au risque d'invasivité.

DONC, le risque de contribuer à la poursuite de la prolifération d'espèces non indigènes dans le cas où les substrats artificiels durs seraient laissés en place est jugé faible. Toutefois, pour arriver à un risque absolu de 0, les structures doivent être supprimées.

Il est à noter que l'évaluation faite est très spécifique aux parcs éoliens actuels dans la partie belge de la mer du Nord (= zone orientale), qui ont été principalement (90-95 %) construits sur des zones de sol sablonneux dynamique. Par conséquent, cette évaluation ne s'applique pas à la Zone Princesse Elisabeth, qui est partiellement située dans une zone de valeur de la Directive Habitats Natura 2000 et où des substrats durs sont naturellement présents (voir ci-dessous).

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES - BIODIVERSITÉ

- Valeur ajoutée de la nouvelle nature pour la biodiversité et les stocks de poissons à grande échelle et à long terme
- Fonction de nurserie des parcs éoliens pour les poissons
- Fonction de tremplin pour les espèces indigènes et non indigènes
- Incidences sur le fonctionnement des écosystèmes et les services écosystémiques fournis, y compris l'éventuel stockage du carbone
- Lutte contre l'eutrophisation due à l'alimentation en suspension sur les pieux
- Durée exacte des incidences environnementales du démantèlement

POLLUTION

Si, à première vue, il peut sembler possible d'éviter certaines formes de pollution à court terme en laissant les éoliennes en place, à long terme, cela pourrait potentiellement conduire à une pollution accrue. Toutefois, l'élimination immédiate de l'infrastructure entraînera une pollution physique supplémentaire à court terme, mais garantira l'évitement de la pollution à long terme.

Lixiviation

La prévention ou l'atténuation de la lixiviation doit faire l'objet de la plus grande attention. Elle concerne les métaux provenant des câbles ou des poteaux eux-mêmes, des peintures, etc., et ce, dès qu'on choisit de laisser les (des parties de) fondations en place et/ou les câbles en place. Il est important d'éviter les situations où toute contamination nécessite une surveillance permanente et où les solutions structurelles au problème ne sont pas évidentes.

Paintflakes

L'altération du revêtement des fondations entraîne la libération de *paintflakes* qui peuvent avoir des effets négatifs sur l'écosystème marin. Cet aspect est actuellement étudié dans le [projet ANEMOI](#). Si

les fondations sont laissées en place, des *paintflakes* seront libérés plus longtemps que si elles sont enlevées. Même lorsqu'une partie de la fondation est sciée, des « *paintflakes* » polluants sont rejetés dans l'écosystème. Par conséquent, l'option consistant à retirer entièrement le monopieu semble préférable à celle consistant à le scier au-dessus ou en dessous du fond marin.

Catastrophes

Le fait de laisser des structures sur place, que ce soit au-dessus de la surface de l'eau ou du fond marin, augmente le risque de catastrophe. Ce risque de catastrophe est d'autant plus élevé que le transport maritime s'intensifie pendant le démantèlement et le repowering. Selon le type de catastrophe, la pollution associée peut aller de négligeable à très grave.

Matériel abandonné sur place

Outre l'effet de lixiviation et de perturbation, abandonner les câbles et des parties de monopieux n'est de toute façon pas une option. Une fois que le matériel n'est plus utilisé, il est légalement considéré comme un « déchet abandonné » et doit être traité comme tel.

Les câbles sont généralement souterrains et ne sont donc souvent pas suffisamment « visibles ». Ils restent des structures introduites par l'homme qui devront tôt ou tard être enlevées, par exemple parce qu'elles gênent de nouveaux travaux d'infrastructure, l'extraction de sable ou parce que leurs composants seront réutilisables dans un avenir proche ou lointain.

Pollution sonore

La quantité et la durée totale du bruit sous-marin pendant de la démolition d'infrastructures constituent un sujet de préoccupation. Les bruits impulsifs en particulier ont des effets négatifs, par exemple sur les mammifères marins tels que les marsouins qui sont communs dans les eaux belges (Haelters *et al.*, 2011). Contrairement à la construction d'un parc éolien, l'enlèvement d'une infrastructure - pour autant qu'on le sache aujourd'hui - ne produit pas de bruit impulsif. Néanmoins, un effet négatif du bruit non impulsif ne peut être exclu.

Le bruit ne s'arrête pas après le démantèlement, car le bruit est également produit après le repowering. La phase de démantèlement et la phase de nouvelle installation constituent donc une longue période de bruit.

Panache de sédiment

L'enlèvement d'infrastructures situées dans le sol crée inévitablement un panache de sédiment lorsque le sol est remué. La taille du panache de sédiment dépend du moment où il se produit. L'importance des incidences de la perturbation du sol lors de l'enlèvement d'un monopieu complet, par exemple, dépend de la technique utilisée. Bien que des techniques d'élimination complètes soient encore en cours de développement, les incidences seront plutôt temporaires et devraient se faire ressentir principalement au niveau local. En raison de la nature dynamique de l'écosystème des bancs de sable dans les parcs éoliens actuels de la zone orientale, les incidences seront acceptables. Dans la future zone du parc éolien, la zone Princess Elisabeth, où le substrat dur est naturellement présent, un panache de sédiment aura beaucoup plus d'incidences et il vaut mieux l'éviter.

Corrosion

La corrosion (de la partie restante) du monopieu se poursuivra, y compris dans les sédiments. Bien qu'on sache que la corrosion des métaux a des effets écologiques similaires à ceux des naufrages, les incidences exactes ne sont pas connues.

Empreinte carbone

L'empreinte carbone pendant le démantèlement doit être la plus faible possible, mais elle peut être compensée si nécessaire. Il est possible qu'au moment du démantèlement, les navires fonctionnent déjà à l'énergie renouvelable, ce qui pourrait réduire considérablement l'empreinte écologique. Il est donc difficile de comparer les incidences des différentes options.

Perturbations visuelles

L'évaluation de la pollution visuelle n'est pas importante, car la probabilité d'un repowering avec de nouvelles éoliennes est élevée. Dans ce cas, la vue restera pratiquement la même.

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES - POLLUTION

- La libération de « paintflakes » malsains lors du sciage (partiel)
> est actuellement étudiée dans le cadre du projet ANEMOI.
- Techniques d'application pour l'enlèvement complet des monopieux, sur des monopieux plus grands qui sont sur le site depuis déjà longtemps.
- Pollution sonore par technique d'élimination ; pollution sonore totale.
- Effet négatif des bruits non impulsifs sur les organismes marins.
- Réduction sensible de la production de bruit lors de l'enlèvement des fondations.
- Précision de l'étendue et des incidences de la corrosion lorsqu'une partie du monopieu reste en place, à la fois au-dessus de l'eau et dans les sédiments. Remarque : les informations sur les épaves de navires corrodés sont-elles applicables aux monopieux ?
- S'efforcer de réduire au maximum l'empreinte carbone

- Incidences en termes de CO₂ des différentes opérations ; analyse du cycle de vie total.
- Volume de dragage à l'intérieur et à l'extérieur de la pile, et avant d'enlever la protection contre l'érosion et les câbles.
- Utilisation ou non de géotextiles (par exemple, lorsque les câbles sont posés sur le rivage et/ou aux croisements de câbles) pour estimer le risque de libération de microplastiques lors de l'enlèvement.
- Taux et vitesse de lixiviation des métaux dans les câbles.
- Quantité de « grouting » libérée lors de l'enlèvement (mais aussi pendant toute la phase opérationnelle).

Le gunitage est un procédé de ragréage effectué avec une couche de ciment injectée au niveau de la pièce de transition pour transférer les charges de la tour de l'éolienne à la fondation monopieu plus stable de l'éolienne.

CIRCULARITÉ

Géopolitique

La Commission européenne envoie de plus en plus de signaux indiquant que l'Europe doit devenir autosuffisante, y compris en ce qui concerne les matières premières et les matériaux. Cet objectif ne

peut être atteint qu'en continuant à utiliser et à réutiliser les matériaux dont nous disposons déjà le plus longtemps possible, et donc en ne laissant certainement pas de matériaux inutilisés en mer.

Pression sur la gestion locale des déchets

Pour 90 % des matériaux les plus recyclables, y compris le métal, il faut s'attendre à une pression élevée mais gérable sur la gestion locale des déchets en raison des capacités qui ne sont pas toujours disponibles localement et des problèmes logistiques qui y sont liés (voir aussi « Capacité de traitement »). Pour les 10 % de matériaux plus difficiles à recycler, principalement les pales, mais aussi les câbles, les batteries et les aimants permanents, la pression est très forte en raison des incertitudes concernant la technologie à utiliser, la capacité disponible et les débouchés possibles pour les matériaux recyclés, en plus de la pression liée aux problèmes logistiques.

La pression exercée sur la gestion locale des déchets (et la capacité de traitement actuelle) a été clairement identifiée dans le projet DecomTools.

Capacité de traitement

Métaux et béton

Pour les métaux et le béton, les principaux flux de matériaux dans le démantèlement des monopieux et des fondations gravitaires dans les parcs éoliens offshore, respectivement, il y a suffisamment d'installations de traitement disponibles en Belgique. Bien que les petites entreprises locales soient parfois confrontées à une accumulation temporaire, les acteurs plus importants, tels que les entreprises de ferraille des ports maritimes d'Ostende et de Gand, et les concasseurs qui traitent les gravats de béton provenant des grands chantiers de construction, disposent d'une capacité de traitement suffisante. Pour garantir l'acheminement sans heurts de ces matériaux vers les recycleurs, il est nécessaire de disposer de bonnes conditionnalités (telles que l'emplacement, l'accès maritime, la solidité des quais et des sites, la surface et l'accessibilité) pour les sites portuaires potentiels, ainsi que d'une organisation logistique efficiente. Toutefois, il peut être intéressant de prévoir une plus grande capacité de traitement à proximité du port de démantèlement afin de réduire les coûts logistiques.

Les recyclats de béton provenant de parcs éoliens offshore pourraient devoir être utilisés avec prudence dans de nouvelles applications. L'action à long terme de l'eau de mer salée sur le matériau rendra potentiellement ce matériau inadapté aux applications de béton armé.

Câbles offshore

La Belgique dispose d'une capacité de recyclage pour les câbles terrestres, mais pour l'instant, il n'est pas certain que ces installations soient toutes techniquement capables de traiter les câbles offshore et/ou que la capacité autorisée soit suffisante pour traiter ce volume supplémentaire. Tout comme pour les autres flux de matériaux, il conviendra d'examiner si des raisons logistiques demandent de disposer d'une capacité de recyclage locale plus importante.

Aimants permanents

En ce qui concerne le traitement des aimants permanents, qui contiennent des terres rares ou REE¹⁵, de nombreuses incertitudes subsistent également. Le traitement de ce matériau pourrait, en principe, se faire dans la métallurgie, mais peu de choses sont connues sur les entreprises de l'UE qui le font déjà. En Belgique, une entreprise métallurgique (Umicore) est déjà autorisée, avec certitude, à

¹⁵ REE = Rare Earth Elements = terres rares utilisées dans diverses applications industrielles en raison de leurs propriétés magnétiques, optiques et chimiques uniques.

recupérer les *REE* contenues dans les aimants, mais on ne sait pas encore si elle le fait déjà réellement ou à grande échelle.

Pales

Jusqu'à présent, le traitement des pales consistait principalement à les broyer et à les utiliser comme matériau de remplissage dans les produits de construction ou, dans l'industrie du ciment, à récupérer de l'énergie et à fournir des matières minérales pour le ciment ; en somme, des destinations pas vraiment attrayantes. En outre, il convient d'être très prudent lors de l'utilisation de la charge dans les matériaux de construction en raison des problèmes potentiels qui peuvent survenir lors du recyclage de ces matériaux, notamment la libération de microplastiques et de fibres fines lors du broyage. Comme pour les fibres minérales fines de l'amiante, la sécurité est également un aspect extrêmement important.

Les initiatives à petite échelle consistent à réutiliser les pales pour construire un pont, un abri à vélos, un banc, du matériel d'escalade pour les terrains de jeux et des murs antibruit le long des autoroutes.

Pour les volumes importants qui seront libérés lors du démantèlement des installations offshore, il est nécessaire de disposer de techniques de recyclage facilement extensibles qui permettent de trouver des débouchés pour les matériaux. De nombreuses recherches et projets pilotes sont en cours dans ce contexte, où l'on peut faire la distinction entre, d'une part, l'évolution vers des pales bien recyclables pour les futurs parcs éoliens et, d'autre part, l'évolution vers le recyclage des pales des parcs éoliens actuels qui doivent être démantelés. Récemment, avec le projet [CETEC](#), la société VESTAS a élaboré une solution pour retraiter les composites en fibres réutilisables et en époxy recyclé de même qualité que les nouveaux composites, entre autres, par thermosolvolyse.

Pour les pales des parcs éoliens actuels de la zone orientale, il faudra trancher à relativement court terme en ce qui concerne les techniques de recyclage et les exigences logistiques qui y sont liées. La recherche de sites appropriés, les procédures d'autorisation et la construction d'installations et/ou l'augmentation des capacités prennent du temps.

On peut éventuellement se tourner vers des possibilités de recyclage dans d'autres États membres, mais même dans ce cas, des exigences logistiques devront être satisfaites au niveau local.

Un autre point à prendre en considération lors de la recherche de débouchés pour les matériaux recyclés provenant des pales est la présence éventuelle de substances préoccupantes. La présence de ces substances peut, entre autres, imposer des restrictions aux applications dans lesquelles l'utilisation du matériau est encore autorisée.

Pierres utilisées pour la protection contre l'érosion

En principe, les pierres de la couche de protection contre l'érosion peuvent être réutilisées, même pour leur usage initial. De cette manière, il n'est pas nécessaire de les ramener d'abord à terre. Le matériau lui-même ne présente aucun risque direct s'il est laissé dans la mer, mais selon la hiérarchie des déchets, il est préférable de le réutiliser plutôt que de le laisser inutilisé. En outre, lorsqu'elles sont enlevées ou réutilisées, les pierres ne font pas obstacle à une éventuelle nouvelle destination. Il est néanmoins peu probable que les pierres des couches actuelles de protection contre l'érosion soient spontanément réutilisées comme protection contre l'érosion lors du repowering.

L'enlèvement complet de la couche de protection contre l'érosion est également envisagé dans les permis d'environnement actuels qui stipulent que « le titulaire doit constituer les ressources financières nécessaires pour remettre le site dans son état d'origine dans la mesure du possible (y compris la couche de protection contre l'érosion) ». Les exploitants de parcs éoliens demandent toutefois de prévoir la possibilité de laisser la couche de protection contre l'érosion (partiellement) inutilisée ou pas, du fait que son enlèvement présente peu d'intérêt financier et prend du temps et que la couche de protection contre l'érosion ne limite pas le repowering. Ce dernier point est contredit par les entrepreneurs maritimes.

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES - CIRCULARITÉ

- Effet à long terme de l'action de l'eau de mer salée sur les recyclats de béton provenant de parcs éoliens offshore ; matériau probablement inadapté aux applications armées.
- Poursuite de la recherche de techniques de démantèlement alternatives/meilleures pour les fondations gravitaires.
- La technologie utilisée pour recycler les câbles terrestres est-elle la même que celle utilisée pour traiter les câbles offshore ?
Dans l'affirmative, la capacité technique de ces installations est-elle suffisante pour traiter les câbles terrestres ?
La capacité autorisée est-elle suffisante pour gérer ce volume supplémentaire de câbles offshore en plus des câbles terrestres ?
 - AZ Kabel (Tielt); Dockx Recycling (Arendonk)
- Le traitement des aimants permanents suscite de nombreuses incertitudes ; une entreprise belge a obtenu une licence pour récupérer les RRE¹ à partir d'aimants, mais il n'est pas encore certain qu'elle le fasse à grande échelle.
- Résultats des recherches en cours et des projets pilotes, d'une part, entre autres en ce qui concerne les développements vers des pales bien recyclables pour les futurs parcs éoliens et les développements vers le recyclage des pales des parcs éoliens actuels, d'autre part.
- Présence de substances préoccupantes dans les pales
- Capacités disponibles actuelles
- L'écoconception - concevoir avec le moins possible d'incidences sur l'environnement
- Est-il légalement possible de prolonger la durée de vie des parcs ?
 - Dix années supplémentaires d'activité sont-elles une option ?
 - Décisions politiques européennes souhaitables ; autorités fédérales (sur la base des limites techniques des matériaux --> entreprises de maintenance des parcs actuels)
- Quelles sont les pièces les plus couramment déjà considérées aujourd'hui comme des pièces de rechange ? Peut-être la boîte de vitesses et le générateur. À étudier de manière plus approfondie.

ASPECT FINANCIER

Coût financier total

Le coût financier total est de toute façon aussi très important, mais il est difficile à évaluer sans connaître le coût réel. Pourtant, il semble plausible que le report de l'enlèvement des infrastructures ne permette de réaliser que des économies à court terme. Le coût de cette suppression suivra de toute façon et, selon toute vraisemblance, augmentera même.

À long terme, la démolition, l'élimination et le recyclage des anciennes structures risquent de devenir plus difficiles et plus coûteux. Cela rend l'ampleur des coûts futurs de plus en plus incertaine. Tout ce qui est supprimé ne donne plus de coûts futurs incertains.

Il convient donc de tout supprimer « en même temps », même si le terme « en même temps » est un peu exagéré. Cela signifie que les structures doivent être enlevées dans un ordre successif et logique, en tenant compte des capacités disponibles (personnes et ressources) et en fonction des conditions météorologiques (y compris les saisons). D'éventuelles pauses limitées peuvent être envisagées, par exemple pour regrouper les choses dans le cadre de considérations d'efficacité (effet d'échelle) ou pour donner le temps de mettre au point la bonne technologie.

Réduction des coûts en vue d'une réutilisation future

Il est essentiel de démanteler les parcs éoliens de manière à laisser ouvertes un maximum d'options de réutilisation future de la zone, à la fois pour une nouvelle production d'électricité et pour d'autres utilisations actuelles ou futures. Sur le plan financier, cela présente l'avantage de ne plus avoir de coûts imprévus à prévoir, ni de coûts d'assurance supplémentaires à long terme pour couvrir le risque de retard, de mauvais ou d'obstacles invisibles à la navigation et à d'autres fonctions.

Réduction des coûts grâce à la réutilisation des matériaux

Lors d'une analyse coûts-avantages, il est possible de réaliser des économies en réutilisant les matériaux dans d'autres sites ou en les recyclant. Toutefois, cet aspect ne sera jamais décisif dans l'examen financier du scénario choisi.

Les économies financières réalisées grâce à la réutilisation de matériaux, tels que les pierres provenant des couches de protection contre l'érosion sur le site, sont considérées comme très improbables. Au contraire, la réutilisation sur place et l'enlèvement complet de la couche de protection contre l'érosion sont estimés très coûteux.

Moyens financiers prévus

Il est particulièrement important pour les propriétaires du parc et la société dans son ensemble de savoir si les coûts sont ou non dans les limites des moyens financiers prévus¹⁶ pour restaurer au maximum la zone dans son état d'origine. Les conditions d'utilisation de la licence environnementale stipulent que ces ressources doivent être fournies par les exploitants du parc. En fin de compte, c'est la société (= nous tous) qui supportera les coûts, soit parce qu'ils seront répercutés par les exploitants des parcs éoliens, soit parce que les coûts ne devaient pas être prévus et que les autorités devront se charger de l'enlèvement.

¹⁶ En fonction de l'autorisation, il s'agit d'une provision ou d'une garantie bancaire, cette dernière n'étant pas en possession des autorités. C'est donc à ce niveau qu'il faudrait encore agir.

Jusqu'à aujourd'hui, la procédure de démantèlement était supposée correspondre à l'inverse de la procédure d'installation. Aujourd'hui, cette thèse est de plus en plus remise en question pour les raisons suivantes :

1. Les études réalisées sur l'enlèvement des monopieux existants se sont révélées plus complexes que prévu (études SeeOff, conférence sur l'énergie éolienne offshore de Dillinger, projet d'essais de Passat...).
2. Le démantèlement des fondations comporte des étapes de plus en plus complexes par rapport à l'installation (travaux préparatoires offshore plutôt qu'à terre, enlèvement des pierres, dragage, découpage...)
3. Les leçons tirées du démantèlement d'installations pétrolières et gazières montrent que l'exécution et la préparation sont plus complexes que prévu.
4. La situation technique d'une structure offshore après des décennies diffère sensiblement de celle qui prévalait au moment de son installation (corrosion, lixiviation, perte de ciment injecté, points de levage affaiblis...).

Cependant, ce qui pourrait avoir un effet positif, c'est le fait que les navires d'installation évoluent maintenant si rapidement que le démantèlement pourrait potentiellement être effectué en utilisant des navires beaucoup plus grands et plus efficaces que ceux utilisés pour effectuer l'installation.

En résumé, il y a actuellement beaucoup d'incertitudes concernant les scénarios de démantèlement d'un point de vue financier !

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES - ASPECT FINANCIER

- Coûts réels inconnus
 - Coût plus ou moins élevé de l'enlèvement complet du monopieu
 - Éventuel surcoût lié à la démolition en deux étapes
 - Coût supplémentaire lié à la dégradation au fil du temps ; cf. risque de chute ou de rupture, ce qui rend le déblaiement encore plus difficile (voire impossible).
 - Coûts et nuisances supplémentaires pour les nouvelles activités dans cette zone à l'avenir
 - Risque supplémentaire (et donc coût supplémentaire) lié à des obstacles à la navigation difficiles à voir ou invisibles
 - Les incidences des différents scénarios sur le coût de l'énergie.

- Qui est responsable des résidus abandonnés sur place (monopieu/effet spaghetti au niveau des câbles) ?

- Il convient de procéder à une analyse coût-bénéfice complète, qui tienne compte aussi des incidences à long terme sur les services écosystémiques (SES) et de l'analyse du cycle de vie (ACV) de toutes les options.

Réflexion : quels indicateurs seront alors déterminants dans le choix des deux méthodes ? Quels sont les éléments auxquels on attache le plus d'importance : incidences sur les services écosystémiques, *changement climatique, épuisement des ressources*, etc.

SÉCURITÉ

Les incidents en mer, qu'ils impliquent des personnes, des navires ou qu'ils soient de nature environnementale, doivent être évités au maximum. Dans cette analyse des risques des différentes stratégies pour les personnes et les équipements, seul le contexte offshore a été pris en compte, en d'autres termes, les risques liés à la sécurité terrestre n'ont pas été pris en compte.

Gestion des risques pendant le démantèlement

La gestion des risques pendant le démantèlement est essentielle. Le démantèlement lui-même est un processus temporaire mais très intensif. Les opérations en mer comportent toujours des risques importants. Elles génèrent un obstacle au niveau local, similaire à celui généré par les travaux routiers sur la route. Cela peut conduire à des situations dangereuses car le trafic environnant se poursuit alors qu'une opération est en cours.

Les risques liés aux activités de démantèlement augmentent au fur et à mesure que le démantèlement avance et ce, en raison de la complexité des tâches. Ces risques sont connus et maîtrisés par les entreprises concernées, tout comme ils l'étaient au moment de la construction des parcs éoliens. Des exemples peuvent être trouvés chez [Boskalis|Decommissioning](#), [DECOM|North Sea](#),...

Gestion des risques après le démantèlement

Dès que le processus de démantèlement laisse (partiellement) l'infrastructure sur le site, la gestion des risques après le démantèlement est essentielle. Ce processus s'inscrit dans la durée et comporte donc des risques connus et inconnus à long terme. Cela peut s'avérer dangereux pour la réutilisation de la zone pour les mêmes activités ou pour l'occupation par de nouveaux utilisateurs, ainsi que pour l'environnement. On ne sait donc pas quelle sera l'ampleur de l'érosion dans cette zone, ce qui peut entraîner que d'éventuelles structures laissées sur place remontent du fond marin.

Risques liés à la navigation

Les risques liés à la navigation doivent être évités au maximum, tant pour les grands que pour les petits navires. Il s'agit notamment de prévenir les collisions (y compris lorsque de grands navires dérivent lors de fortes tempêtes), ainsi que de maintenir la sécurité au mouillage. Toute structure supplémentaire en mer, surtout si elle n'a pas de fonction, est considérée comme une structure de trop. Les câbles et les éléments de fixation des monopieux, lorsqu'ils ne sont plus utilisés et ne font pas l'objet d'un suivi, peuvent finir par être exposés. Outre les motifs économiques, l'enlèvement de l'ensemble de la couche de protection contre l'érosion et du monopieu, et dans une moindre mesure des câbles, est donc également nécessaire pour la sécurité de la navigation.

Risques contractuels et assurantiels

Les risques supplémentaires liés à l'abandon des structures se traduisent également par des risques contractuels et assurantiels. Il est nécessaire de clarifier la question de la responsabilité et d'assurer une protection adéquate des personnes concernées.

Taux d'occupation de la mer

Il est essentiel de tenir compte du taux d'occupation de la mer. Ces données sont désormais représentées visuellement sur des cartes thermiques (« heat maps ») régulièrement mises à jour et utilisées par des instances, notamment d'assistance à la navigation. Plus le taux d'occupation est faible, plus la sécurité est grande. Cela plaide en faveur de l'abandon d'un minimum de structures. La phase de démantèlement elle-même, comme la phase de construction, est en soi un exploit en termes de sécurité pour toutes les parties concernées.

Utilisation inappropriée

Les structures abandonnées sur place provoquent naturellement une utilisation inappropriée : amarrage aux fondations (yachts, plongeurs, pêcheurs, migrants), capture de homards sur et autour de la couche de protection contre l'érosion, vol de câbles en raison de la valeur du cuivre, ... Cela entraîne des risques et des dangers supplémentaires, qui n'existent pas si toute l'infrastructure est complètement supprimée.

Fonction touristique/nuitée

Pendant un moment, il a été question d'utiliser certaines parties de la fondation pour des activités économiques, telles qu'un hôtel ou un casino. Ce scénario semble très peu probable car les fondations ont été conçues à l'origine pour une durée de vie limitée et n'ont jamais été destinées à une habitation permanente. Des critères de conception différents s'appliquent aux plateformes habitées. En outre, l'espace d'utilisation qui peut être prévu sur un monopieu est assez limité, ce qui est loin d'être évident. Peut-être pourrait-il être considéré comme un hub pour les travailleurs, où ils pourraient passer la nuit occasionnellement et seulement en cas de nécessité, par exemple en cas de mauvaises conditions météorologiques. À cette fin, il convient d'abord de procéder à une analyse approfondie des risques.

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES - SÉCURITÉ

- La concession domaniale et le permis d'environnement décrivent la manière dont le démantèlement doit être effectué. Mais qui reste responsable si plus de choses que prévu sont abandonnées ? Qui assure la signalisation ? Qui en assume la responsabilité, la gestion et les coûts?
 - Cette question doit faire l'objet d'un examen juridique plus approfondi. À première vue, il semble que les responsables sont les titulaires de licences, anciens et nouveaux. Si les autorités donnent l'autorisation d'abandonner des choses au terme des autorisations, cette responsabilité incombe alors probablement à l'État.
- Qui reste responsable de l'entretien et de la stabilité des structures afin que la sécurité ne soit pas compromise ?
- Des méthodes de démantèlement complet existent. À quel point sont-elles sûres ?
 - Vérifier auprès des développeurs de projets maritimes/offshore
- Qui peut estimer la gestion des risques après le démantèlement - la durée de vie dépend du type d'utilisation (fatigue, corrosion...)

ÉVALUATION DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE FONDATION AUTRE QUE MONOPIEU

L'évaluation des différentes options de démantèlement pour les autres types de fondations (autres que monopieu) n'a révélé pratiquement aucune différence.

Par contre, la manière dont une fondation gravitaire est amenée à terre est techniquement différente de celle utilisée pour les monopieux. Il est possible que cette fondation soit d'abord cassée en petits morceaux à l'aide d'équipements spécialisés tels que des brise-roches ou des marteaux hydrauliques de démolition. Les morceaux cassés sont ensuite retirés du site et éliminés. Cela entraînera d'importantes perturbations supplémentaires au niveau local. D'autres recherches pourraient permettre d'identifier d'autres techniques de démantèlement, peut-être meilleures, pour les six fondations gravitaires.

En revanche, les quatre pieds de la fondation jacket peuvent être sciés plus facilement qu'un monopieu. Il n'y a pas non plus de couche de protection contre l'érosion autour des éoliennes avec des fondations jacket.

Par ailleurs, les mêmes observations que celles relatives au démantèlement des fondations monopieu s'appliquent.

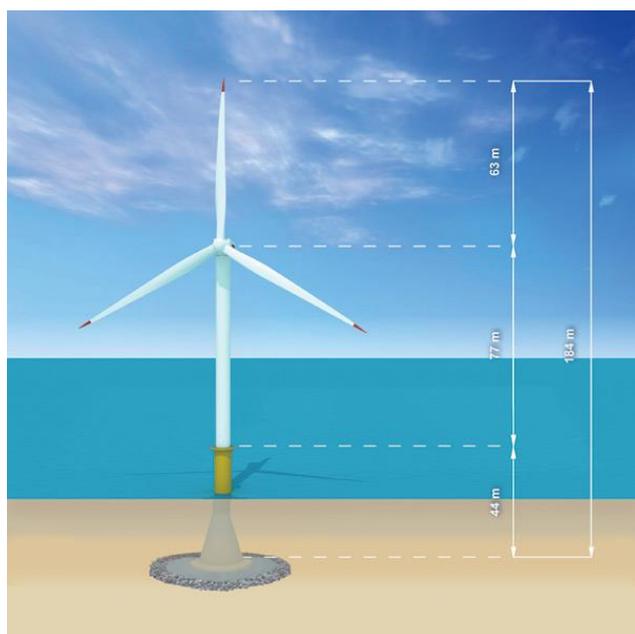


Figure 6 - Fondation gravitaire

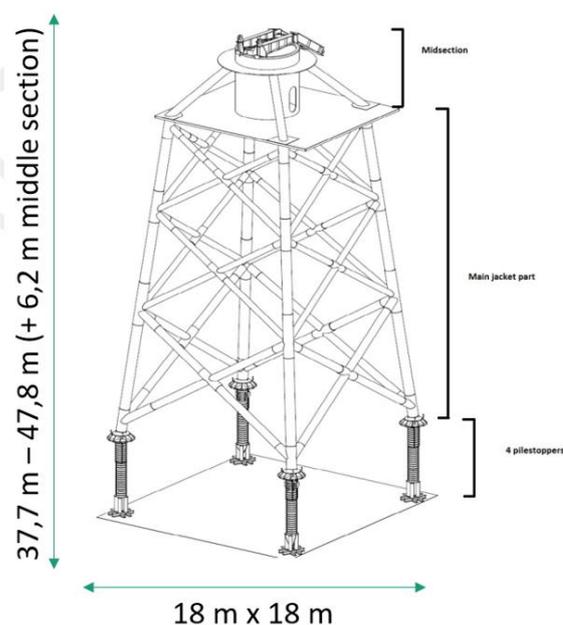


Figure 7 - Fondation jacket

VISION

VISION en cas de REPOWERING

Plusieurs parcs éoliens sont actuellement opérationnels dans la partie belge de la mer du Nord. Quand ces éoliennes arrivent en fin de vie, la question se pose de savoir s'il faut ou non les enlever complètement.

Si les autorités optent pour le repowering de la zone, l'enlèvement complet de toutes les structures (= scénario reset) semble être la solution la plus appropriée pour le démantèlement des parcs éoliens actuels dans la zone orientale. Il s'agit de restaurer au mieux le site dans son état d'origine, en enlevant effectivement tout, sauf si cela s'avère techniquement infaisable pour la fondation monopieu. Dans ce dernier cas, tout doit être enlevé aussi profondément que possible et au moins jusqu'à deux mètres sous le fond marin stable.

L'enlèvement de toutes les structures se heurte uniquement à la résistance des exploitants de parcs éoliens, qui aiment ajouter la nuance suivante : ils choisissent d'enlever les structures jusqu'à deux mètres ¹⁷sous le fond marin stable, à moins qu'il n'y ait pas d'obstacles à un enlèvement plus profond. En ce qui concerne la couche de protection contre l'érosion il est souhaité que la possibilité soit laissée de la laisser (partiellement) en place. Les deux propositions sont principalement basées sur des arguments financiers à court terme et des incertitudes techniques.

Pourquoi le choix du « scénario reset » ?

Conservation et restauration de la nature

Il convient de faire la distinction entre la biodiversité typique de l'habitat d'origine des bancs de sable dynamiques et la nouvelle biodiversité typique des substrats durs et créée par l'introduction artificielle d'un habitat dur.

La faune naturelle présente et souhaitée des substrats sableux dynamiques est adaptée à une dynamique élevée et peut donc bien résister aux perturbations temporaires causées par les activités de démantèlement.

En ce qui concerne la nouvelle biodiversité créée par l'effet de récif artificiel, l'élimination complète des structures n'est pas considérée comme problématique. En effet, la biodiversité n'est pas considérée en soi comme intéressante dans un écosystème de banc de sable naturellement dynamique au point de devoir la laisser intacte et cela, parce qu'il s'agit d'un habitat qui n'existe pas naturellement à cet endroit. En outre, le démantèlement dans le cadre du repowering entraînera l'apparition d'un nouveau substrat dur sous la forme d'un nouveau parc éolien, ce qui signifie que ces possibilités supplémentaires d'habitat, d'abri et de repos se rétabliront à court terme et par étapes.

¹⁷ Réflexion du groupe : s'il est financièrement/techniquement possible d'enlever jusqu'à deux mètres de profondeur, la question se pose de savoir si la même technique ne peut pas être appliquée à trois, quatre, cinq, ... mètres de profondeur.

Sécurité

Les structures laissées sur place créent plus de problèmes que d'avantages. Ainsi, les parties laissées sur place peuvent constituer un obstacle aux mouvements des navires et peuvent être dangereuses pour les autres utilisateurs de la mer. Il est essentiel de minimiser au maximum les risques de sécurité.

Hiérarchie des déchets

Quoi qu'il en soit, il est conseillé de réutiliser ou de recycler les matériaux précieux inutilisés plutôt que de les abandonner dans la mer.

Différentes fonctions peuvent être imaginées pour préserver une partie d'une fondation en vue d'une réutilisation (aquaculture, pêche passive, recherche, etc.). En supposant que la zone soit de toute façon réaménagée pour la production d'énergie renouvelable, ces fonctions peuvent être assurées tout aussi bien (voire mieux) sur les structures nouvellement construites ou à côté de celles-ci. À cet égard, il n'est pas nécessaire de prendre un risque financier et de sécurité en abandonnant des parties sur place. Par exemple, la conception des nouvelles éoliennes pourrait tenir compte des besoins de l'aquaculture ou de la recherche, et prévoir un espace supplémentaire pour les capteurs et la surveillance.

En outre, les structures abandonnées auront également des incidences négatives sur l'écosystème marin et la biodiversité. Il y aura lixiviation de toutes sortes de polluants, y compris du cuivre et d'autres métaux, des anodes de zinc et de la peinture écaillée, des plastiques et du béton (y compris le *gutting*) pendant une longue période.

Législation

Le scénario selon lequel les fondations, les couches de protection contre l'érosion et les câbles sont entièrement retirés est conforme aux réglementations et accords communs, y compris la concession domaniale et le(s) permis d'environnement associé(s)¹⁸, le principe du pollueur-payeur de la loi sur l'environnement marin et la convention OSPAR selon laquelle le démantèlement complet doit toujours être la règle.

En outre, lorsque tout est supprimé, l'ambiguïté concernant la responsabilité des structures restantes disparaît également.

Technologie

Le développement des technologies dans le domaine du démantèlement évolue rapidement en raison de la forte demande du marché. Cela se traduit notamment par l'engagement à trouver des solutions pour l'élimination complète des monopieux. Différentes solutions sont actuellement testées pour appliquer l'enlèvement complet de la fondation monopieu à plus grande échelle, même pour les monopieux les plus grands qui sont dans l'eau depuis longtemps. En outre, il existe aussi un engagement croissant en faveur de la réduction des incidences environnementales du processus de démantèlement à proprement parler.

Il est important que les parcs éoliens qui doivent encore être construits ou faire l'objet d'un repowering intègrent au maximum cet aspect dès la phase de conception.

¹⁸ Outre le fait que le permis d'environnement stipule que le titulaire doit remettre le site dans son état initial, sauf si le ministre en décide autrement, les conditions d'utilisation de ce même permis d'environnement exigent que les pylônes soient coupés à 2 mètres sous le fond marin. Par conséquent, une clarification juridique s'impose.

VISION relative à d'autres réaffectations

Si la zone devait faire l'objet d'une réaffectation totale ou partielle autre que le repowering, l'évaluation pourrait s'en trouver affectée à certains niveaux. Néanmoins, dans la plupart des cas, même le scénario reset avec suppression complète de toutes les structures reste le choix le plus logique pour les mêmes raisons que celles mentionnées ci-dessus. Par exemple, si (une partie du) site est libéré pour permettre des fonctions telles que la pêche active, l'extraction de sable ou la création d'une aire marine protégée (AMP)¹⁹, l'enlèvement de toutes les structures constitue *de facto* la meilleure préparation concevable du site pour cette utilisation future.

S'il n'y a pas de repowering dans la zone et qu'il n'y a pas de nouvelles structures à construire, un certain nombre d'activités préconisent de conserver un nombre limité de fondations en enlevant la partie située au-dessus de la plateforme de transition²⁰.

Voici quelques-unes de ces raisons :

- prévoir des structures de fixation utiles pour l'aquaculture et la pêche passive (par exemple, palangres, casiers, etc.) ;
- prévoir une base de recherche pour la surveillance du milieu marin et du climat (par exemple pour les capteurs, les essais, etc.) ;
- offrir un site d'essai pour les nouvelles technologies dans le domaine de l'éolien offshore et d'autres formes d'énergie renouvelable (panneaux solaires flottants, production d'hydrogène, etc.) ;
- utilisation comme attraction unique pour les touristes, en particulier ceux qui s'intéressent à la mer et à l'aventure (par exemple, utilisation comme pont d'observation ou « parc d'aventure », jetée pour les plongeurs de loisir et les amateurs de plongée avec tuba).

Dans ce cas, il peut être important pour l'aquaculture de maintenir une protection contre l'érosion au cours du processus, car cela augmenterait la probabilité de capturer des huîtres européennes en raison de la présence accrue de l'espèce. En outre, la protection contre l'érosion qui subsiste a un impact positif sur la (nouvelle) biodiversité qui offre des possibilités de pêche passive et de plongée récréative, bien qu'il existe des risques en matière de sécurité (voir « Sécurité » ci-dessus).

Le projet ETF (MultiUse Purpose) a l'intention de poursuivre les recherches sur le potentiel de cette réutilisation (annexe 2).

¹⁹ AMP = Aire marine protégée

²⁰ La plateforme de transition est la large plateforme située entre le mât de l'éolienne et la tour de la turbine. De couleur jaune, elle est entourée d'une rambarde pour assurer la sécurité des personnes qui s'y rendent.

Avis sur les futurs parcs éoliens

Avis sur la Zone Princesse Elisabeth et la zone orientale

Les résultats permettent également de comprendre comment les futurs parcs éoliens peuvent être conçus de manière optimale en tenant compte de la phase de démantèlement. L'installation de nouvelles éoliennes est prévue sur deux sites dans la partie belge de la mer du Nord. D'une part, le repowering de la zone orientale est (très probablement) à venir, et d'autre part, une nouvelle zone de parc éolien, appelée Zone Princesse Elisabeth, est à venir.

En ce qui concerne les avis relatifs aux deux zones, les principaux aspects soulevés ont concerné le principe de circularité qui doit tenir compte de la hiérarchie des déchets. Les différents éléments d'une éolienne (y compris les fondations) doivent être conçus de manière à simplifier leur démantèlement. Avant la construction de nouveaux parcs éoliens, il convient de réfléchir à la manière dont les éoliennes seront démantelées et d'adapter leur conception en conséquence.

ÉVITER LES DÉCHETS

Pour les parcs éoliens actuels de la zone orientale, il n'est plus possible d'éviter les déchets, car tout est déjà sur place. Il est d'autant plus important d'en tirer le meilleur parti lors du repowering et dans les parcs éoliens en cours de construction. Un des moyens d'y parvenir est de travailler de manière plus modulaire, de sorte que certains composants et structures puissent être plus facilement et mieux remplacés ou réutilisés.

Lorsqu'il est impossible d'éviter les déchets, il est essentiel pour les futurs parcs éoliens d'optimiser davantage la conception afin d'obtenir le même rendement (voir un rendement supérieur) avec moins de matériaux.

MAXIMISER LA RÉUTILISATION

Aujourd'hui, des pièces détachées sont déjà réutilisées dans la mesure du possible et de manière limitée, ce qui revêt et continuera à revêtir une grande valeur. Pour les autres composants, la réutilisation doit être envisagée en fonction des évolutions technologiques, ce qui n'est pas possible à l'heure actuelle. La modularité accrue des futurs parcs éoliens devrait faciliter la réutilisation d'un plus grand nombre de pièces (comme pièces de rechange ou comme composants d'une nouvelle turbine).

En principe, les pierres utilisées pour la protection contre l'érosion peuvent toujours être réutilisées. En cas de repowering de la zone orientale, il est logique de ne pas d'abord ramener les pierres à terre et de les réutiliser directement au maximum dans la même zone.

RÉPARER LE MATÉRIEL

Les réparations et l'entretien sont déjà fréquents afin de maintenir la durée de vie et le rendement des turbines à un niveau optimal. Pour les futurs parcs éoliens, la conception de l'éolienne, y compris ses fondations, doit être encore optimisée pour garantir la réparabilité et/ou la remplaçabilité de tous les composants. Si cela permet de prolonger sensiblement la durée de vie des turbines par rapport aux 20 à 25 ans actuels, des concessions à plus long terme pourraient également être envisagées afin d'éviter de devoir démanteler prématurément les unités performantes.

RECYCLER

Le recyclage est le traitement et la transformation des déchets en nouveaux produits. Il est important que les éléments des futurs parcs éoliens qui ne peuvent pas être réutilisés soient recyclés au maximum.

RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

La récupération d'énergie est une des options actuelles pour le traitement des pales, mais elle est considérée comme étant de qualité médiocre en raison de la perte de matière. Des développements sont en cours qui permettront un recyclage à plus haute valeur, il n'est donc pas judicieux, du point de vue des matériaux circulaires, de parier sur l'expansion de ce domaine de traitement.

MISE EN DÉCHARGE

De nombreux matériaux font déjà l'objet d'une interdiction de mise en décharge. S'engager à augmenter la capacité des décharges n'est absolument pas souhaitable du point de vue de la politique de circularité des matériaux.

Avis sur la Zone Princesse Elisabeth

Dans la Zone Princesse Elisabeth, contrairement à la zone orientale du parc éolien, on trouve de vastes récifs géogènes, c'est-à-dire des lits de gravier (type d'habitat 1170). Cela signifie que le substrat dur est naturellement présent. Par conséquent, un panache du sédiment créé par des opérations liées au démantèlement, par exemple, aura beaucoup plus d'incidences que dans les zones avec un sol sableux dynamique et il est préférable de l'éviter. D'autre part, de nombreux avantages peuvent être obtenus dans les zones de lits de gravier en implantant des habitats artificiels en substrat dur, tels que des fondations et des couches de protection contre l'érosion. Alors que pour la valeur naturelle de la première zone, il est conseillé de tout enlever lors du démantèlement, les faits dans la Zone Princesse Elisabeth sont différents.

Au cours des 20 dernières années, les connaissances technologiques et la façon dont la (perturbation de la) biodiversité est aujourd'hui perçue ont considérablement évolué. C'est précisément la raison pour laquelle le débat sur le démantèlement des infrastructures offshore, même au niveau d'OSPAR, est en train d'être réexaminé.

Les bancs de gravier ont actuellement une valeur faunique limitée car ils sont encore intensivement remués et perturbés par la pêche au chalut. Si la pêche qui perturbe le fond y est exclue pendant 20 à 30 ans en raison de la présence d'un parc éolien, un riche écosystème s'y développera (voir les études [EDEN2000](#)). En tenant compte de toutes les considérations de ce rapport, il peut donc être considéré que dans la Zone Princesse Elisabeth, et plus spécifiquement dans ou à proximité des lits de gravier, les câbles et/ou les couches de protection contre l'érosion doivent être laissés (partiellement ou non).

En l'état actuel des connaissances et des techniques, il est préférable de ne pas retirer les câbles dans ou à proximité des bancs de gravier pendant le démantèlement afin de ne pas perturber ce riche biotope. Cela ne se produira pas dans les bancs de sable dynamiques de l'actuelle zone orientale, car il n'y a pas de lits de gravier naturellement présents. Un autre exemple consiste à concevoir des couches de protection contre l'érosion de manière qu'elles ressemblent étroitement à des lits de gravier naturels. Lorsqu'une telle couche de protection contre l'érosion est aménagée à l'intérieur ou à proximité d'un lit de gravier, après 20 à 30 ans, elle recrée la biodiversité naturellement présente dans ce type de zone. Il convient d'éviter de supprimer cette protection contre l'érosion

ultérieurement, au moment de démantèlement et de compromettre une nouvelle fois la zone pour les 20 à 30 années suivantes.

La nouvelle zone du parc éolien, la Zone Princesse Elisabeth, empiètera en partie sur un site Natura 2000 (figure 6). Cela signifie que, inversement à ce qui était le cas dans la première zone de parc éolien, la valeur naturelle locale devient prioritaire.

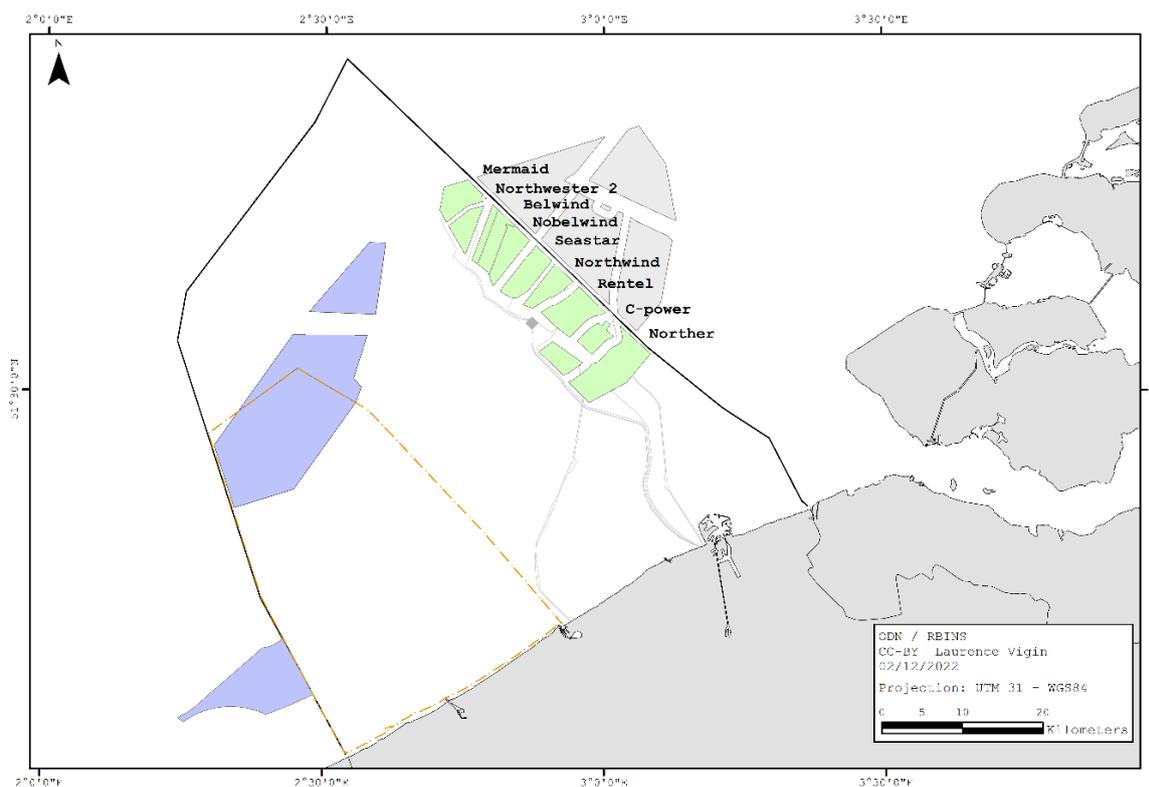


Figure 8 - Zones d'énergie renouvelable actuelles et prévues dans et autour de la partie belge de la mer du Nord (dans la ligne pointillée orange de la zone Natura 2000).

Le site Natura 2000, plus précisément le site de la directive Habitats « Vlaamse banken »²¹, a été délimité en raison de valeurs naturelles très spécifiques. Cela signifie que la fonction d'extraction d'énergie renouvelable peut être étendue si elle n'a pas d'incidence négative sur les valeurs naturelles locales. Si des effets négatifs significatifs ne peuvent pas être exclus, l'extension de la Zone Princesse Elisabeth sera assortie d'une obligation de compensation des dommages causés à l'environnement naturel. Cette compensation devra être discutée et convenue avec la Commission européenne, comme cela a été fait précédemment lorsqu'une [zone de protection des sols a été établie pour compenser](#) les dommages causés à un site Natura 2000 lors de l'aménagement du Maasvlakte 2 dans le port de Rotterdam.

La Belgique est l'un des premiers pays au monde à construire un parc éolien dans une zone Natura 2000. Dans ce domaine, le pays joue un rôle de pionnier, ce qui crée une pression qu'il ne faut pas sous-estimer. Une réflexion est en cours sur les implications de cette situation et, plus précisément,

²¹ Les zones Natura 2000 peuvent être à la fois des zones de la directive Habitats et des zones de la directive Oiseaux ; il n'y a actuellement aucun parc éolien dans les zones de la directive Oiseaux.

sur la manière d'éviter tout effet négatif et de renforcer tout effet positif. La base scientifique de cette analyse a été récemment renforcée par les études [EDEN2000](#).

Liste des figures et des tableaux

Figure 1 - Année prévue pour le démantèlement des éoliennes en mer du Nord (DecomTools - projet Interreg - 2019)	6
Figure 2 - Plan d'approche et calendrier du trajet de concertation des parties prenantes	8
Figure 3 - Répartition des participants au groupe de travail actif sur le démantèlement des parcs éoliens offshore	8
Figure 4 - Options de démantèlement des monopieux	12
Figure 5 - Parties d'un monopieu et options pour le démantèlement	15
Figure 6 - Fondation gravitaire.....	30
Figure 7 - Fondation jacket	30
Figure 8 - Zones d'énergie renouvelable actuelles et prévues dans et autour de la partie belge de la mer du Nord (dans la ligne pointillée orange de la zone Natura 2000).	36

ANNEXES

ANNEXE 1 - Organisations qui ont participé au groupe de travail actif Trajet de formation d'une vision sur le DÉMANTÈLEMENT DES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE dans la partie belge de la mer du Nord

1	Antea Group
2	Arcadis
3	Belgian Offshore Platform
4	Boskalis
5	De Blauwe Cluster
6	DECO Subsea NV
7	Département Agriculture et Pêche
8	DG Navigation
9	ENECO
10	ESM bv
11	SPF Économie - Service Plateau continental
12	SPF Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement – DG Environnement – service Milieu marin
13	GEOxyz
14	Port d'Ostende
15	Instituut voor Landbouw- en Visserij- en Voedingsonderzoek
16	International Marine and Dredging Consultants
17	Jan De Nul Group
18	Université Catholique de Louvain
19	Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique
20	Luminus
21	Natuurpunt vzw
22	Nieuport
23	OTARY NV
24	OVAM
25	Parkwind
26	POM West-Vlaanderen
27	Privé
28	Province de Flandre occidentale
29	Redercentrale
30	Rederij De Smit
31	SPF Économie, DG Énergie
32	Ville d'Ostende / Port d'Ostende
33	Strategie en Ontwikkeling Provincie West-Vlaanderen
34	Universiteit Antwerpen
35	Universiteit Gent
36	Virya Energy
37	Vlaams Instituut voor de Zee (Institut flamand pour la Mer)
38	WWF-Belgique
39	Zeegra vzw

ANNEXE 2 – initiatives en cours et prévues en matière de démantèlement d'installations offshore.

Projets encore en cours

Le projet « [Circular Transition in Offshore Wind - CTO](#) - (VLAIO project) » - (01/01/2022-31/12/2024), examine comment la fin de vie des éoliennes offshore dans la partie belge de la mer du Nord peut être abordée de manière durable et comment l'industrie peut s'y préparer.

Plusieurs projets axés sur le recyclage, la réutilisation et la circularité des pales sont également en cours :

- « [Blades2Build](#) (EU Horizon project) » (01/01/2023 - 31/12/2025) - La recherche et l'industrie développent ensemble des solutions circulaires pour les pales d'éoliennes ;

- « [EoLO-HUBs](#) (EU Horizon project) » (01/01/2023 - 31/12/2026) - Wind turbine blades **End of Life** through **Open HUBs** for circular materials in sustainable business models ;

Les EoLO-HUB établiront une collaboration à long terme afin de garantir que près de 90 % des matériaux des éoliennes soient recyclés, créant ainsi une économie circulaire qui génère des emplois et réduit les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030 ;

- « [REFRESH](#) (EU Horizon project) » (01/01/2023 - 31/12/2026) - Smart dismantling, sorting and **RE**cycling of glass **Fibre RE**inforced composite from wind power **S**ector through **H**olistic approach;

REFRESH vise à développer et à faire la démonstration d'un nouveau système circulaire et intelligent pour améliorer le recyclage (> 90 %) des composites renforcés de fibres de verre provenant du démantèlement ou du relavage des éoliennes, avec un haut degré de pureté.

- [Blade Made](#) aux Pays-Bas est une entreprise qui mise sur le recyclage des matériaux composites, notamment pour les terrains de jeux et les murs anti-bruit ;

- Le projet [RECYPALE](#) du Centre Terre et Pierre (CTP) recycle les pales d'éoliennes.

Pour les parcs éoliens encore à construire, les résultats du projet [LICHEN BLADES](#), de l'université de technologie de Delft, seront importants car ce projet travaille sur la conception de pales qui durent plus longtemps et contiennent plus de composants qui peuvent être récupérés et utilisés dans des applications de grande valeur au cours de plusieurs cycles de vie.

Le projet européen [MAREWIND](#), **MA**terials solutions for cost **R**eduction and **E**xtended service life on **WIND** offshore facilities (solutions matérielles pour la réduction des coûts et l'allongement de la durée de vie des installations éoliennes offshore), est également à suivre pour les parcs éoliens qui n'ont pas encore été construits.

Un nouveau projet Interreg Mer du Nord sur les émissions chimiques a récemment été lancé : **ANEMOI** (*Chemical emissions from offshore wind farms : assessing impacts, gaps and opportunities*) avec les partenaires ILVO, IRSNB, POM West-Vlaanderen, UAntwerpen.

La Provinciale Ontwikkelingsmaatschappij West-Vlaanderen (POM West-Vlaanderen) a soumis le projet « **Ready4Decom** » dans le cadre de l'appel « Belgium Builds Back » (thème l'éolien). Ce projet vise à mieux identifier les problèmes juridiques, logistiques, techniques de traitement et sociétaux liés au démantèlement des éoliennes terrestres et offshore. Le kick-off a été donné le 31 mai 2023.

Projets planifiés

POM West-Vlaanderen établira un centre d'expertise pour le démantèlement des éoliennes offshore par le biais du projet ETF « **OWiDEx**²² » (prévu du 01/09/2023 au 31/08/2025). L'objectif est notamment de regrouper les connaissances fragmentées concernant le démantèlement des éoliennes offshore en un seul centre d'expertise afin de soutenir une approche décisionnelle équilibrée. Il inclurait également l'IRSNB, l'UGent, la VUB, SIRRIS, l'OVAM et Parkwind.

Une procédure d'appel d'offres a été lancée au SPF Économie : « L'exécution d'une étude théorique sur le repowering de la zone éolienne orientale, comportant une analyse juridique, économique et technique complète et intégrée. » (cahier spécial des charges n° 2022/77268/E2/REPOWERING). Cette étude de repowering sera bientôt livrée. Une présentation dans un atelier public est prévue à l'automne 2023.

Une autre procédure d'appel d'offres a également été lancée par le SPF Économie, à savoir le « Cahier spécial des charges n° 2022/78497/E2/ Provision pour le déclassement d'études offshore », concernant l'évaluation des coûts et des provisions existantes pour le démantèlement des parcs éoliens offshore existants de la zone orientale, en Belgique. Cette étude sur la provision de démantèlement est encore en phase d'appel d'offres et d'évaluation.

Projets en attente d'approbation

La VUB/OwiLab (partenaire principal) ainsi que l'IMDC, l'UGent, la KULeuven et SIRRIS ont soumis une proposition de projet ETF (**MultiUse Purpose**). Ce projet étudiera la faisabilité de la (ré)utilisation des infrastructures existantes pour la production d'énergie hybride et/ou leur réaffectation à l'énergie houlomotrice/marémotrice ou aux technologies de stockage. Il vise donc à améliorer le rendement et à réduire le *Levelized Cost of Energy*²³ dans la zone offshore belge et à offrir une alternative au démantèlement complet de l'infrastructure existante. Dans le cadre de ce projet, les partenaires expérimentés du consortium mèneront une étude conceptuelle, économique, juridique et de fiabilité structurelle sur la multi-(ré)utilisation des infrastructures existantes et l'utilisation combinée des espaces marins.

²² Projet approuvé entretemps - date de démarrage le 1er septembre 2023

²³ LCOE signifie « *Levelised Cost of Energy* » (coût actualisé de l'énergie), une mesure du coût financier total de la production d'électricité sur la durée de vie d'un projet, y compris tous les coûts d'investissement et d'exploitation, divisé par la quantité totale d'électricité produite. Il est souvent utilisé pour comparer les coûts de différents types de projets énergétiques, tels que l'énergie éolienne, l'énergie solaire et le gaz naturel.