



Installation de la turbine SABELLA – D10

RETOUR D'EXPERIENCE POUR INSTALLATIONS FUTURES

LIVRABLE WP T 1.5.3 PROJET TIGER
VERSION 1.0 | MAI 2023



Historique du document

Version	Date	Auteur	Commentaires
1.0	02/02/2023	MHE - <i>Robin Falcone</i>	Version confidentielle
2.0	05/04/2023	MHE - <i>Robin Falcone</i>	Version non confidentielle

Ce rapport a été écrit par PP05 MHE56, ci-après MHE, partenaire du projet TIGER.

Introduction

Le projet TIGER

L'objectif du projet TIGER est d'accélérer la croissance de l'énergie hydrolienne dans la région Manche, tout en offrant des avantages économiques importants pour les communautés côtières. Il répond à la nécessité de redynamiser le secteur de l'énergie hydrolienne en France et au Royaume-Uni, et dont le développement ralenti du fait du manque de rythme dans la mise en service des projets, parce que les partenariats entre les PME ne sont pas suffisamment développés, et que l'énergie hydrolienne n'a pas été présentée au public pour obtenir un soutien politique du secteur, ce qui décourage de façon globale les investissements privés.

Le projet entend relever ces défis en établissant des partenariats transfrontaliers afin de développer de nouvelles technologies, de les tester et d'en faire la démonstration à plusieurs endroits dans et autour de la région de la Manche. Les retours de cette expérience unique aideront à construire un dossier plus solide et rentable au bénéfice de l'énergie hydrolienne, partie du mix énergétique du Royaume-Uni et de la France. Le projet rassemble des organisations spécialisées dans le secteur, des PME et des développeurs de technologies, ainsi que des experts universitaires, afin de constituer des équipes transfrontalières pour accélérer collectivement le développement du secteur, plus rapidement et plus efficacement grâce au soutien d'INTERREG. Les développeurs de turbines partenaires du projet, soutenus par des organisations universitaires et de recherche, travaillent ensemble, créant ainsi un nouveau réseau d'approvisionnement au Royaume-Uni et en France qui fournira de nouvelles conceptions pour des turbines plus performantes et moins coûteuses.

Les partenaires du projet

Université d'Exeter

L'université d'Exeter figure parmi les 150 premières universités mondiales selon le classement mondial des universités du Times Higher Education et participe à plus de 100 projets européens. L'Université d'Exeter a plus de 20 ans d'expérience dans l'analyse des vagues, la modélisation des ressources, l'hydrodynamique marine, les amarrages, les essais, l'ingénierie de la fiabilité, l'installation, l'exploitation et la maintenance offshore.



ORE Catapult

L'Offshore Renewable Energy Catapult est financé par le gouvernement britannique, en tant que centre de technologie, d'innovation et de recherche phare du Royaume-Uni pour l'énergie éolienne, houlomotrice et hydrolienne. Il participe à des projets de R&D collaboratifs à grande échelle, à des projets d'innovation financés par des fonds commerciaux et publics, et exploite des installations d'essai en libre accès pour la fiabilité des groupes motopropulseurs, la fatigue des pales, l'évaluation des défaillances des composants et les systèmes autonomes pour la collecte de données à distance et l'inspection des actifs.



Cambrian Offshore

Cambrian Offshore a été créé en 2018 pour mener à bien le projet de régénération de Ramsey Sound, qui verra le déploiement d'une installation hydrolienne, comprenant une turbine sous-marine connectée au réseau, une sous-station et les infrastructures associées.



Université de Plymouth

L'université de Plymouth est une université publique basée principalement à Plymouth, en Angleterre, où se trouve le campus principal, mais l'université possède des campus et des collèges affiliés dans tout le sud-ouest de l'Angleterre.



Bretagne Développement Innovation (BDI)

Bretagne Développement Innovation est l'agence régionale d'innovation et de développement économique de Bretagne, composée de 50 collaborateurs.



Électricité de France (EDF)

EDF est une grande entreprise française de services publics qui s'est engagée historiquement dans les énergies renouvelables par le biais de sa filiale EDF-RE. EDF a obtenu des concessions et exploite la majorité des centrales hydroélectriques en France. Cette expérience de l'énergie



extraite de l'eau a conduit à s'intéresser à l'énergie hydrolienne à son stade le plus précoce.

Université Bretagne Sud (UBS)

L'UBS est une institution publique à caractère scientifique, culturel et professionnel.



Morbihan Hydro Energies SAS

Morbihan a été créé pour exploiter le potentiel des ressources énergétiques disponibles en milieu marin. Elle dispose d'une connaissance importante du territoire, de ses acteurs, des modes de consommation d'énergie, de la distribution, de l'expérience en matière de conception, de production et d'installation de turbines.



HydroQuest

HydroQuest, basée à Grenoble (Alpes françaises), a été créée en 2010 et a développé une gamme complète de turbines hydrocinétiques capables de produire de l'électricité à partir des courants de rivières, d'estuaires et de marées.



Normandie Hydroliennes

Normandie Hydroliennes regroupe les partenaires SIMEC Atlantis Energy (SAE), AD Normandie et EFINOR. SAE fournit des turbines et son expertise au plus grand site hydrolien d'Europe, le site de Meygen en Ecosse. ADN est l'agence régionale pour le développement économique de la Normandie. Et EFINOR, basée à Cherbourg, est une entreprise de métallurgie et de conception combinant trois unités commerciales - ingénierie, fabrication et soutien.



Université de Caen Normandie

L'Université de Caen Normandie, avec ses nombreuses unités de recherche, est spécialisée dans les sciences marines et côtières. Historiquement tournée vers la mer, elle a acquis des connaissances et un savoir-faire reconnus internationalement dans ce domaine.



Université Le Havre Normandie

Le Laboratoire des Ondes et Milieux Complexes (LOMC) est une unité mixte de recherche avec le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et l'Université Le Havre Normandie. Il possède une expertise dans les méthodes expérimentales et numériques. Le groupe d'hydrodynamique marine se concentre sur l'énergie marémotrice depuis 2008 et est réputé pour sa collaboration avec l'IFREMER sur l'étude de l'énergie marémotrice. Le groupe de contrôle non destructif possède une expertise dans le contrôle de la santé des structures métalliques et composites par ultrasons.



Centre européen des énergies marines (EMEC)

EMEC est le principal centre de test, de démonstration et de vérification des technologies d'énergie des vagues et des marées en mer. À ce jour, l'EMEC a accueilli plus de dispositifs d'énergie marine que tout autre site dans le monde.



Minesto

Minesto est un développeur de turbines, avec une solution unique et brevetée pour la production d'électricité à partir des courants de marée. Minesto est actif sur plusieurs sites dans le monde, en Irlande du Nord, au Pays de Galles, dans les îles Féroé et à Taïwan et a plus de 5 ans d'expérience dans le test et l'installation de centrales électriques dans différents endroits.



Orbital Marine Power

Orbital Marine Power est reconnu comme le pionnier des turbines marémotrices flottantes depuis la création de la société en 2002 dans les Orcades, en Écosse. Orbital a maintenu et amélioré cette position en développant les connaissances et la technologie d'ingénierie les plus avancées au monde en matière de turbines marémotrices flottantes.



SEENEOH

SEENEOH réunit les différentes expertises nécessaires à la réalisation des tests des technologies hydroliennes en milieu réel. S'appuyant sur le savoir-faire acquis sur son site d'essais en milieu estuarien à Bordeaux, SEENEOH assiste EDF dans la gestion et l'exploitation du site de Paimpol-Bréhat.



Université de Manchester

L'université de Manchester apporte plusieurs domaines d'expertise en matière de recherche fondamentale, notamment des méthodes d'analyse hydrodynamique applicables aux turbines marémotrices et éoliennes dans les turbulences et les vagues, des techniques intégrées de surveillance des conditions et des méthodes de fabrication innovantes, y compris pour les structures composites telles que les pales de turbine.



QED Naval

QED Naval est un développeur de technologies spécialisé dans le secteur des énergies marines renouvelables. Leur plateforme marémotrice, Subhub, est un système entièrement intégré utilisé pour soutenir les turbines marémotrices et tout ce dont elles ont besoin pour générer de l'énergie marémotrice, y compris l'infrastructure électrique.



Fonds européen de développement régional (FEDER)

Le programme Interreg VA France (Manche) Angleterre est un programme de l'UE qui finance des projets qui bénéficient à l'espace Manche dans le sud du Royaume-Uni et le nord de la France, en utilisant des fonds FEDER. Le programme accorde un financement aux projets dont les partenaires travaillent ensemble pour trouver des solutions aux défis communs de l'espace Manche.



Qu'est-ce que l'énergie hydrolienne ?

Il existe deux grands types de courants : les courants océaniques (comme le Gulf Stream), qui sont influencés par les différences de température et de salinité de la masse d'eau (courant profond) et les vents globaux (courant de surface) ; et les courants de marée, qui sont liés aux effets des forces gravitationnelles exercées par la Lune et le Soleil, et à la rotation de la Terre. Cet effet de marée est important près des côtes ou à l'entrée des rivières. Les courants de

marée sont généralement accélérés en fonction de la topographie des fonds marins, notamment autour des caps, dans les détroits entre les îles et dans les zones d'eau peu profonde.

Ce sont ces dernières qui présentent le plus d'intérêt pour les industriels. En effet, situées à proximité des côtes, elles offrent un potentiel d'approvisionnement en électricité du fait de leur proximité avec les réseaux de transport d'énergie.

L'Europe est caractérisée par des marées semi-diurnes avec 4 phases : la marée haute, le jusant, la marée basse et le flot. Ce cycle dure 12h25 et se répète deux fois pour une journée. Le mouvement de va-et-vient de ces masses d'eau induit des courants de flux et de reflux. Les phases d'étalements de courant correspondent à l'inversion du courant et correspondent à des phases sans courant. La production d'électricité dépend de l'amplitude cubique de la vitesse du courant et est donc nulle pendant les phases d'étalement de courant.

Objectif du document

Afin de favoriser le développement du secteur de l'énergie hydrolienne, certains défis doivent être relevés. Parmi eux, les opérations maritimes et notamment le déploiement des turbines représente un axe de développement majeur de la filière.

Ce document contient des recommandations basées sur le retour d'expérience du déploiement de l'hydrolienne SABELLA D10 dans le passage du Fromveur en avril 2022, afin de dérisquer les opérations qui seront portées par MHE dans le golfe du Morbihan.

Table des matières

Historique du document	2
Introduction	3
Le projet TIGER	3
Les partenaires du projet	3
Qu'est-ce que l'énergie hydrolienne ?	7
Objectif du document	8
Table des matières	9
Première partie : le contexte du projet D10	13
1. Le projet D10 : une première historique	13
2. La campagne d'essais 2022 : un jalon de validation stratégique pour le déploiement de deux D08 dans le golfe du Morbihan	13
2.1. Enjeux	13
2.2. Choix technologiques et fonctionnels	13
2.3. Choix opérationnels	13
Deuxième partie : comparaison entre le projet Tiger et le Projet D10	15
1. Introduction	15
2. Comparaison des sites : Fromveur et Golfe du Morbihan	15
2.1. Conditions météo-océanographiques	15
2.2. Conditions topographiques	16
3. Comparaison opérationnelle	17
3.1. Moyens nautiques	17
3.2. Atterrage	17
4. Comparaison technologique	17
Deuxième partie : REX sur l'opération d'avril 2022	17
1. Description de l'opération	17
1.1. Le site du Fromveur	17
1.2. Les conditions météorologiques	18

1.3. Déroulement de l'opération	19
1.4. Les colis	20
1.5. Les moyens opérationnels	22
2. Pose de la turbine	25
2.1. Déroulement	25
2.2. Contraintes opérationnelles	26
2.3. Levage et débordement	26
2.4. Descente de la turbine	27
2.5. Encastrement de la turbine	27
2.6. Pose de la bretelle	28
2.7. Conclusion	29
3. Pose du câble	29
3.1. Préparation du câble	29
3.2. Atterrage du câble	30
3.3. Pose du câble	33
3.4. Raboutage du câble	34
3.5. Bilan de l'opération	34
4. Connexion	35
5. Pose des ADCP	35
6. Bilan sur la technologie Wetmate des D08	36
6.1. Alignement	36
6.2. Gestion des efforts	36
6.3. Avantage Wet-Mate Vs Dry-Mate	37
7. Performances de positionnement dynamique	37
7.1. Essais DP	37
7.1. Performances en forte mer	37
7.2. Bilan	39
8. Synthèse des retours d'expériences issus de l'opération	39
Conclusion	41

Figure 1 : vue satellite du courant de la jument (à gauche) et du Fromveur (à droite).....	16
Figure 2 : vue satellite et carte bathymétrique du passage du Fromveur et de la localisation de l'hydrolienne D10.....	18
Figure 3 : bulletins météorologiques avant opération.....	19
Figure 4 : planning initial.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 5 : touret de câble.....	20
Figure 6 : caractéristiques de la nacelle de d10.....	21
Figure 7 : caractéristiques du ber de D10.....	21
Figure 8 : caractéristiques du LARS de D10.....	22
Figure 9 : caractéristiques du Normand Superior.....	23
Figure 10 : photos de l'équipement pour dérouler le câble d'export.....	24
Figure 11 : caractéristique de l'équipement pour dérouler le câble d'export.....	24
Figure 12 : agencement du pont du bateau	25
Figure 13 : débordement de la turbine D10	27
Figure 14 : le pin de la nacelle approche du cône de l'embase.....	27
Figure 15 : photographie illustrant les difficultés rencontrées lors de l'encastrement de la nacelle dans l'embase.	28
Figure 16 : (à gauche et en haut à droite) photos du nouveau touret de câble d'export avec les deux extrémités accessibles et le connecteur dry-mate monté au préalable, (en bas à droite) la tête d'abandon.....	30
Figure 17 : schéma de principe de l'opération, en jaune la position initiale du câble, en orange sa position finale.....	31
Figure 18 : atterrage du filin.....	31
Figure 19 : dispositif pour l'atterrage du câble	32
Figure 20 : mise en place des bouées depuis le navire	32
Figure 21 : une gueuse est positionnée sur le câble pour libérer l'extrémité à terre et pouvoir le déplacer.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 22 : repositionnement du câble le long de la digue et sur le tombant rocheux	33
Figure 23 : connecteur posé sur le fond	34
Figure 24 : raboutage du câble d'export	Error! Bookmark not defined.
Figure 25 : connexion de la bretelle au câble d'export.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 26 : immersion de la connectique	35

Figure 27 : station ADCP équipée d'un compas ROV	36
Figure 28 : conditions météo au retour sur site	38
Figure 29 : découpe de l'ancienne élingue	38
Figure 30 : élingage de la station ADCP	39
Tableau 1 : comparaison des conditions météo-océanographiques du courant de la jument et du Frovmeur.....	15
Tableau 2 : caractéristiques du site d'immersion de D10.....	18
Tableau 3 : liste à tâches « macro » à réaliser lors de l'opération du printemps 2022	19
Tableau 4 : tableau comparatif des colis du projet D10 et du projet TIGER	22
Tableau 5 : système d'encastrement de la nacelle dans l'embase	27
Tableau 6 : conditions dans lesquelles les essais DP ont été réalisés.....	37
Tableau 7 : tableau récapitulatif des retours d'expériences techniques et opérationnels due l'opération d'avril 2022.....	40

Première partie : le contexte du projet D10

1. Le projet D10 : une première historique

Le projet D10, mené par l'entreprise Quimpéroise SABELLA SA, a été lauréat d'un appel à manifestation d'intérêt « Démonstrateur d'énergies marines » de l'ADEME et a ainsi reçu le soutien du Programme d'Investissements d'Avenir. Cette nomination a permis une première immersion en juin 2015 et a fait de D10 la première hydrolienne à injecter sur le réseau français.

Au projet D10 a succédé le projet ICE – *Intelligent Community Energy*, portée par Bretagne Développement Innovation, ce programme a permis une nouvelle période d'essai survenue après une remise à neuf du démonstrateur.

2. La campagne d'essais 2022 : un jalon de validation stratégique pour le déploiement de deux D08 dans le golfe du Morbihan

2.1. Enjeux

En plus des objectifs propres au projet D10 lui-même, dont notamment la certification de la courbe de puissance du démonstrateur, la ré-immersion de l'hydrolienne en avril 2022 présentait une opportunité majeure pour MHE - Morbihan Hydro Énergies. En effet, cette campagne d'essais a permis d'étudier et de valider les choix (ou contraintes) techniques et opérationnels impactant le bon déroulement du scope de MHE dans le cadre du projet Tiger. Ces éléments sont détaillés dans les parties suivantes.

2.2. Choix technologiques et fonctionnels

Dans le cadre du projet, l'entreprise MHE a la charge de l'exploitation des turbines SABELLA D08, et donc, de la maîtrise des éléments suivants :

- la stratégie de pilotage des machines ;
- la gestion de l'injection réseau, en lien avec les exigences du gestionnaire de réseau.

Ces éléments ne seront pas détaillés dans ce document car ils font l'objet d'un livrable dédié.

2.3. Choix opérationnels

Dans le cadre du projet, l'entreprise MHE a la charge de l'installation et de la mise en service des hydroliennes et de leurs équipements connexes. De ce fait, le déploiement et la campagne d'essai 2022 du démonstrateur D10 a permis à MHE de confronter les éléments suivants :

- les scénarios d'opération maritime (planification, choix du matériel, ..) ;
- les performances du navire ;
- la pertinence des connectiques Wet-Mate dans le cadre des opérations maritimes ;

- la procédure de mise en service.

Les retours d'expériences propres à la procédure de mise en service seront également détaillés dans le livrable mentionnés ci-avant.

Deuxième partie : comparaison entre le projet Tiger et le Projet D10

1. Introduction

Afin de mieux comprendre les bénéfices que peut tirer MHE de l'opération maritime menée par SABELLA en avril 2022, il est nécessaire de prendre un peu de recul sur ces deux projets pour identifier leurs différences et leurs similitudes. Cet exercice permettra, notamment, d'identifier les limites de répliquabilité du projet D10 vers le projet TIGER, et ce, tant sur les aspects techniques qu'opérationnels.

2. Comparaison des sites : Fromveur et Golfe du Morbihan

2.1. Conditions météo-océanographiques

Le passage du Fromveur et le courant de la jument sont deux sites à forts potentiel hydrolien. Ces derniers sont néanmoins très différents en termes de conditions météo-océanographiques. Le tableau ci-dessous synthétise les valeurs caractéristiques de houle, de vitesses d'eau, et de bathymétrie à prendre en considération dans le cadre des opérations maritimes.

/	Courant de la jument	Fromveur
Houle décennale	Hs = 0.96 m ; Tp = 18.56 s	Hs = 8.16 m ; Tp = 9.74 s
Mer du vent décennale	Hs = 2.15 m ; Tp = 5.48 s	[]
Durée de la renverse pour un coefficient 88 (Vitesse d'eau inférieur à 1 m/s)	50 min	1h10
Durée de la renverse pour un coefficient 24 (Vitesse d'eau inférieur à 1 m/s)	2h50	10h30
Vitesses d'eau maximales (moyennée sur 10 minutes)	3,62 m/s	4,45 m/s
Bathymétrie (MSL)	25 m	57 m

Tableau 1 : comparaison des conditions météo-océanographiques du courant de la jument et du Fromveur

On remarque que les durées de renverses exploitables sont plus faibles dans le Golfe du Morbihan que dans le Fromveur, ce qui est logique puisque les vitesses maximales y sont plus importantes. Cela signifie que le temps d'opération à chaque marée sera moins important, il sera donc d'autant plus nécessaire de prendre en considération tous les retours d'expériences présentés dans ce document.

En revanche, comparativement, le passage de la Jument est très bien protégé de la houle. Cela présente de nombreux avantages et permet notamment de :

- Diminuer les risques dû à la houle pendant l'opération ;
- Augmenter le nombre de fenêtres opérationnelles.

Cette caractéristique permettra notamment de réaliser les opérations maritimes en hiver, lorsque l'activité dans le golfe du Morbihan est moins importante et que le marché l'offshore est plus attractif.

Dans le cadre des opérations maritimes du projet D10, les conditions de houle ont à plusieurs reprises étaient fortement pénalisantes. En témoigne parfaitement l'opération du printemps 2022.

La bathymétrie joue également un rôle important pour la planification des opérations maritimes. En effet, plus la bathymétrie est importante, plus les temps dédiés à la descente et au relevage des colis sont longs. Le temps nécessaire à une même opération est donc plus important dans le Fromveur dans le courant de la Jument.

En résumé, si la complexité du passage du Fromveur réside dans sa profondeur, le courant de la jument, quant à lui, bénéficie d'une bathymétrie avantageuse permettant de réduire les durées de chaque opération.

2.2. Conditions topographiques

En comparaison avec le Fromveur, le site du golfe du Morbihan, est exiguë. Le positionnement et les manœuvres des navires devront donc être parfaitement exécutés. L'opération d'avril 2022 a donc permis à MHE d'engranger de l'expérience pour réaliser au mieux les opérations à venir dans le cadre du projet Tiger. La figure ci-dessous montre deux vues satellites qui permettent clairement de voir la différence d'espace disponible pour réaliser l'opération.

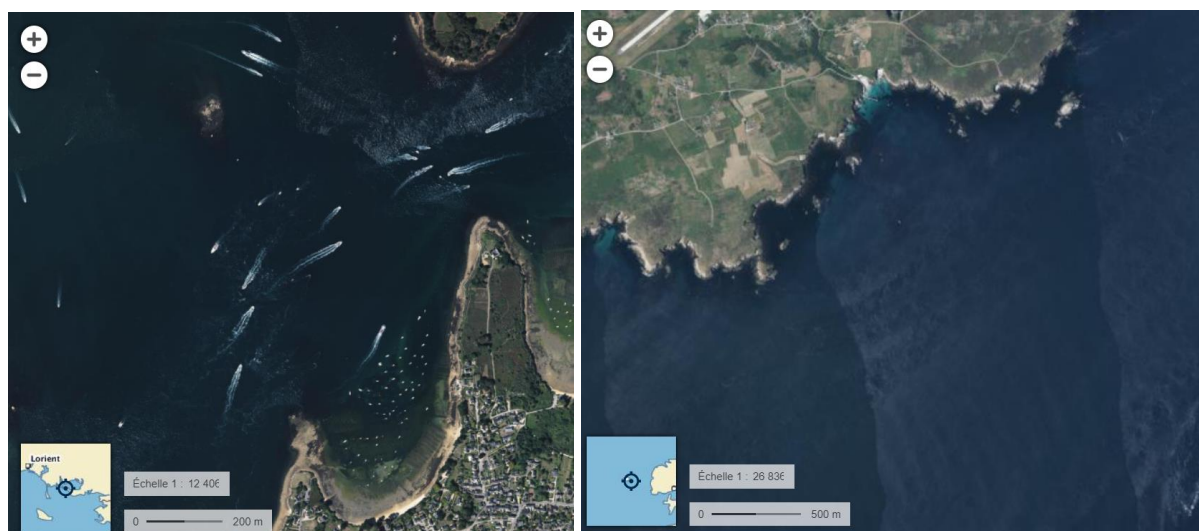


Figure 1 : vue satellite du courant de la jument (à gauche) et du Fromveur (à droite)

Les performances de positionnement dynamique des navires, qui seront rappelées tout au long de ce document démontre clairement faisabilité de ce type d'opération dans des zones très restreintes.

3. Comparaison opérationnelle

3.1. Moyens nautiques

Hormis les opérations sur le câble et le caisson déportée qui seront réalisés avec des Multicats, le navire ciblé par MHE pour le déploiement des D08 depuis la phase de conception est le Normand Superior. Ce navire a été utilisé précédemment (alors nommé Far Superior) sur le projet D10, et réutilisé dans le cadre de l'opération d'avril 2022. L'étude des performances du navire est donc immédiatement applicable aux procédures de déploiement que devra développer MHE.

3.2. Atterrage

Les zones d'atterrage sont généralement localisées directement dans l'axe de pose du câble et à proximité immédiate de l'estran. Dans le cadre du projet Tiger l'atterrage présente de nombreuses contraintes :

- Faible accessibilité des engins de manutention ;
- Raboutage à réaliser entre le câble terrestre et le câble sous-marin ;
- Repositionnement nécessaire du câble.

L'ensemble de ces contraintes sont également présentes sur le site d'Arlan, où le câble d'export de l'hydrolienne D10 a été atterré durant l'opération d'avril 2022. Les retours d'expériences issus de cette opération bénéficieront donc grandement à MHE pour le déploiement des câbles du projet TIGER.

4. Comparaison technologique

La différence principale entre le design des D08 du projet TIGER et la D10 réside dans l'implantation d'une connectique Wetmate permettant de s'affranchir de nombreuses contraintes. Ce document retrace les retours d'expériences, issus de cette opération, qui conforte ce choix technologique.

Deuxième partie : REX sur l'opération d'avril 2022

1. Description de l'opération

1.1. Le site du Fromveur

L'hydrolienne SABELLA – D10 est immergée dans le passage du Fromveur situé entre l'archipel de Molène et l'île de Ouessant au nord de la mer d'Iroise, l'atterrage du câble est localisé sur la plage d'Arlan sur l'île de Ouessant. La figure ci-dessous montre la localisation de la turbine ainsi que la route de câble.

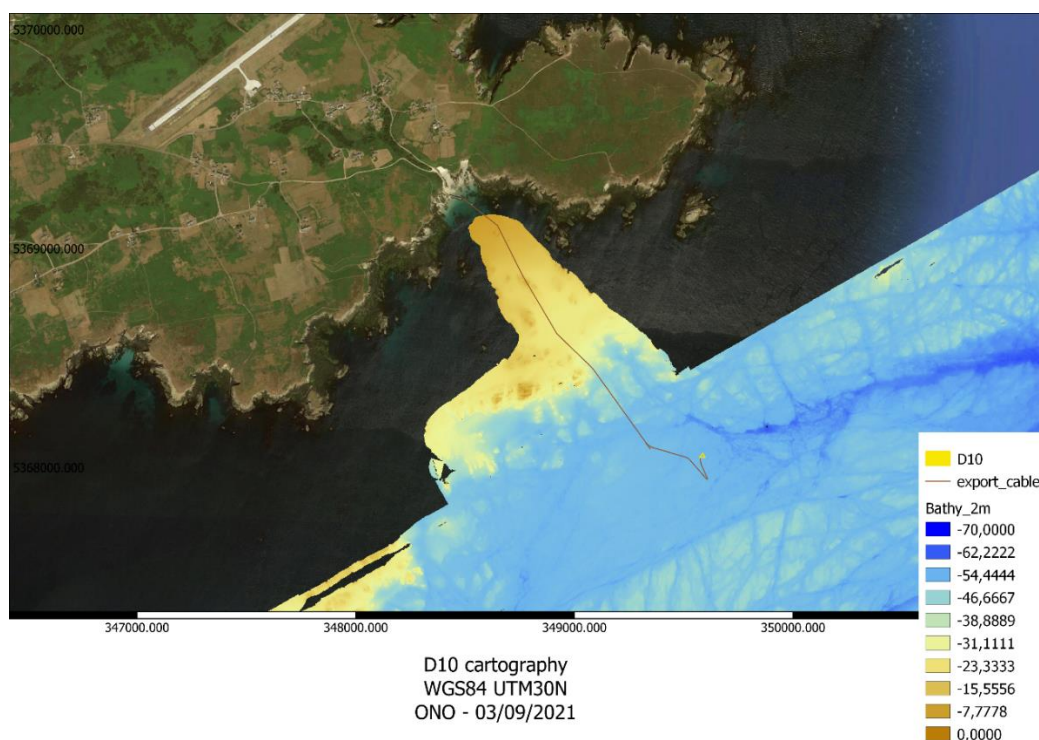


Figure 2 : vue satellite et carte bathymétrique du passage du Fromveur et de la localisation de l'hydrolienne D10

À l'endroit où l'hydrolienne est immergée, les caractéristiques météo-océaniques sont les suivantes :

Caractéristiques	Valeurs
Niveau bathymétrique (LAT)	50,4 m
Vitesse d'eau maximale (10 min)	3,62 m/s
Désaxage Flot/Jusant	14,4°
Houle décennale	$H_s = 8,14m / T_p = 9,12s$
Durée d'étale ($V < 1m/s$) coefficient 24	10h30
Durée d'étale ($V < 1m/s$) coefficient 88	1h10

Tableau 2 : caractéristiques du site d'immersion de D10

1.2. Les conditions météorologiques

À l'approche de l'opération, une forte dépression a été annoncée. Les conditions météorologiques excédant les limites opérationnelles, il a donc été nécessaire de revoir la planification de l'opération.

Les figures ci-dessous montrent les conditions de vent et de houles du dernier bulletin météo du 04/04/2022.

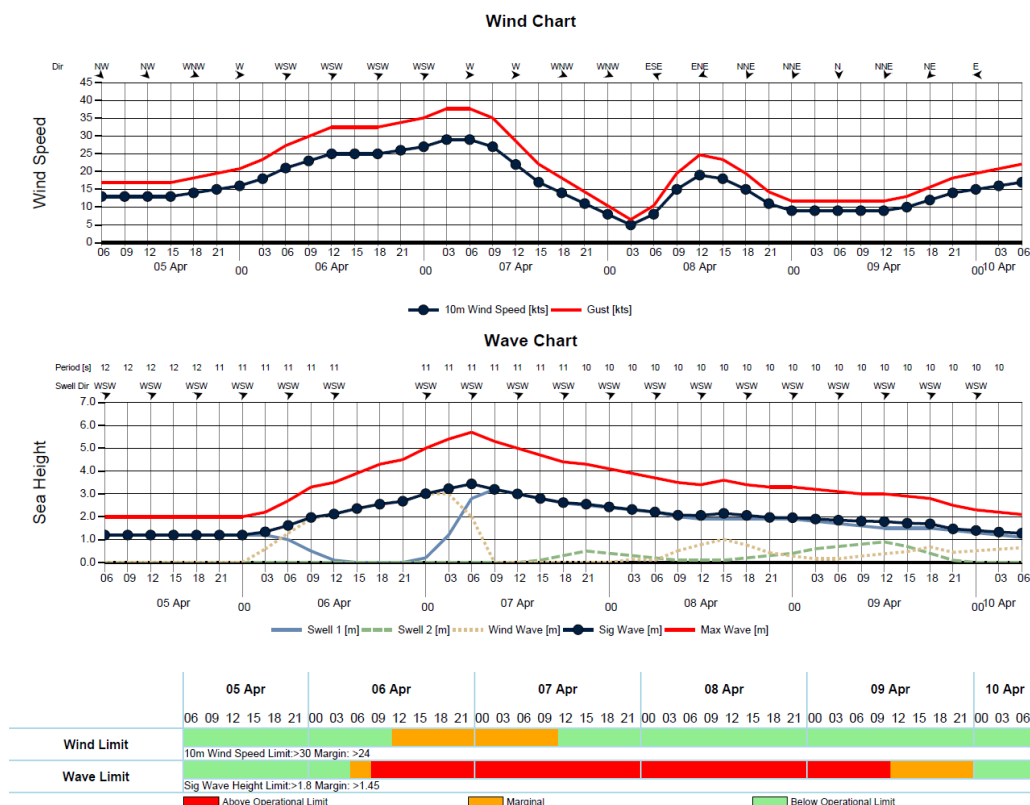


Figure 3 : bulletins météorologiques avant opération

1.3. Déroulement de l'opération

L'opération d'avril 2022 a été la plus complexe réalisée sur le projet D10, le tableau suivant décrit les tâches à réaliser sur la morte eau.

ID	Description
Tâche 1	Mobilisation au port de Brest
Tâche 2	Transit sur site Essais DP As Found survey
Tâche 3	Atterrissage du câble
Tâche 4	Pose du câble
Tâche 5	Raboutage du câble à terre
Tâche 6	Pose de la turbine
Tâche 8	Connexion
Tâche 9	Relève ADCP SW
Tâche 10	Repose des ADCP SW et NE
Tâche 11	Démobilisation

Tableau 3 : liste à tâches « macro » à réaliser lors de l'opération du printemps 2022

Au vu des conditions il a été décidé d'optimiser le créneau disponible en début de fenêtre opérationnelle. Pour ce faire l'opération a été coupée en trois parties, la première consistant en une mobilisation réduite afin de déployer uniquement l'hydrolienne, la seconde étant la démobilisation du ber de l'hydrolienne et la mobilisation des équipements nécessaires à la pose du câble, et la dernière, la réalisation des tâches restantes en mer.

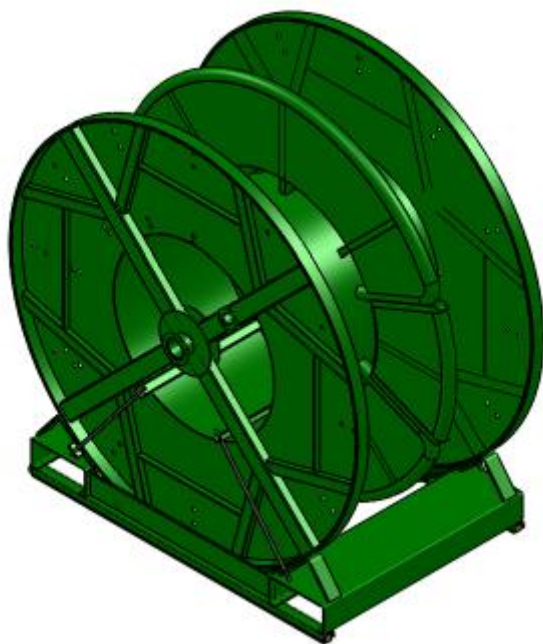
Bien que forcée, cette nouvelle planification a présenté de nombreux avantages dont notamment le fait de :

- Limiter les risques sur le déploiement de l'hydrolienne en exploitant un créneau de faible houle ;
- Optimiser les créneaux de standby météo avec des activités à quai (mobilisation et démobilisation) ;
- Ménager les équipes ;
- Diminuer l'encombrement du pont ;

Ce dernier point est un retour d'expérience important pour MHE dans le cadre du déploiement des D08 du projet Tiger. En effet, bien que très performant, le navire dispose d'un espace réduit sur le pont, l'encombrement aurait été trop important si l'opération avait été réalisée d'une traite, occasionnant de ce fait des risques pour les personnes ainsi que des complications opérationnelles.

1.4. Les colis

Les caractéristiques du touret de câble sont décrites ci-dessous.



DIMENSIONS

Height : 4m

Width : 2,3

Length : 4m

WEIGHT - Dry

Reel : 3,5 t

Cable (1800m) : 24300 t

Dry mate Connector : 0,6 t

Figure 4 : touret de câble

Les caractéristiques de la turbine sont présentées dans la figure ci-dessous.

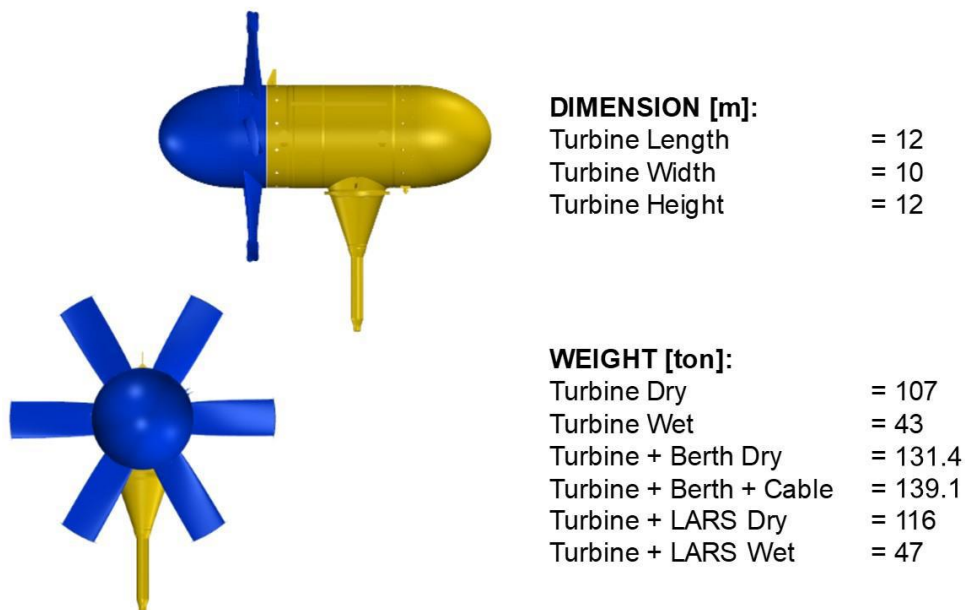


Figure 5 : caractéristiques de la nacelle de d10

Les caractéristiques du Ber de D10 sont présentées ci-dessous.

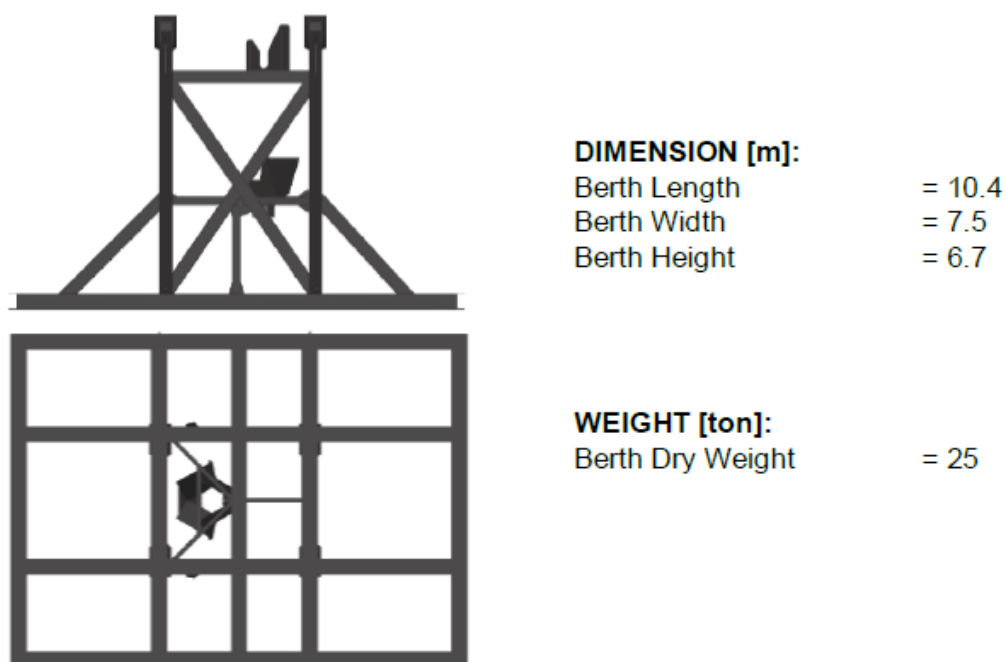


Figure 6 : caractéristiques du ber de D10

Les caractéristiques du LARS - Launch And Recovery System sont présentées ci-dessous.

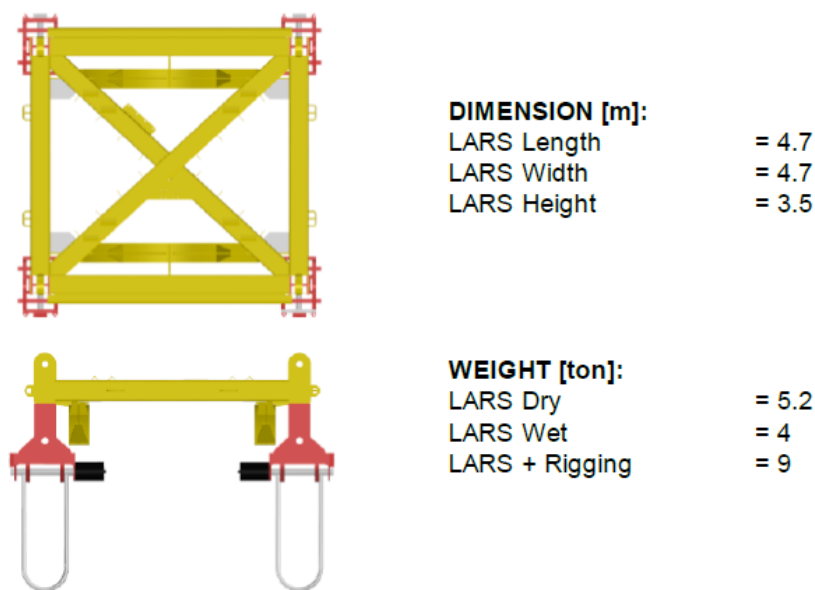


Figure 7 : caractéristiques du LARS de D10

Le tableau ci-dessous détaille les plus gros colis du projet D10 et du projet Tiger.

Composants	Hauteur [m]	Largeur [m]	Longueur [m]	Masse [t]
D10 - Nacelle	12	10	12	107
D10 - Ber	6,7	7,5	10,4	25
D08 - Embase	8	12	13	40
D08 - Nacelle	8	8	10	50
D08 - Ber	3	4,8	6	25

Tableau 4 : tableau comparatif des colis du projet D10 et du projet TIGER

1.5. Les moyens opérationnels

Le navire qui a été sélectionné pour l'opération est le Normand Superior de la flotte Ocean Infinity - Solstad Offshore. Par effet d'aubaine, il s'agissait également du navire qui a été pris comme référence par MHE pour le déploiement des embases et des nacelles des D08 depuis le début de la phase de conception du projet Tiger. Cette opération a donc permis à MHE d'évaluer, in situ, les performances du navire.

Ci-dessous sont présentées les caractéristiques de ce navire.



Vessel specs

Built	2017
Design	Vard 3 17
Flag	NIS
Accommodation	85 Persons
LOA	98,1m
Cargo Deck Area	875m ²
ROV	Yes
Yard	Vard Vung Tau
Main Class	+1A1, SF, DK(+), COMF-V(3)C(3), SPS, CLEAN DESIGN, DYNPOS-AUTR, NAUT-AW, BIS, SPS
Dynamic Positioning	DP 2 from Kongsberg
Classification Society	DNV GL
Helideck	Diameter 26,1m, Sikorsky 92 - 15 T
Draft (max)	6,6m + 0m Skeg/Nozzle
Deck Cargo Capacity	1800mt (CoG 1,0m above main deck)
Deck Strength	Free area 10 T m ² / 15 T m/2 aft of FR 41 mt/m ²
Deadweight	4200mt (d=6,6m)
Main Crane	1 x SWL 150mt@ 15m - Single fall - AHC

Figure 8 : caractéristiques du Normand Superior

Les équipements sélectionnés pour dérouler le câble d'export sont décrits ci-après.



Figure 9 : photos de l'équipement pour dérouler le câble d'export

SPECIFICATIONS

Line pull	15Te
Maximum lay speed	970m/hour
Product capacity	50mm to 430mm diameter
Track grip force	52Te (22Te/m)
Track contact length	2.35m
Operating modes	Manual (Haul in/pay out - 15Te) Render (Holdback 1Te - 15Te) Constant tension (Haul in 2Te - 15Te)
Instrumentation	Line distance, line tension, line speed, grip pressure
Hydraulic supply	160 l/min / 240 bar maximum
Weight	7.8Te
Dimensions	L: 4.60m W: 2.23m H: 1.65m
Control	Local and remote in control cabin

SPECIFICATIONS

Traversing force	1.4Te @ 210 bar
Weight	2Te
Overall dimensions	L: 7.4m W: 1.44m H: 2.5m

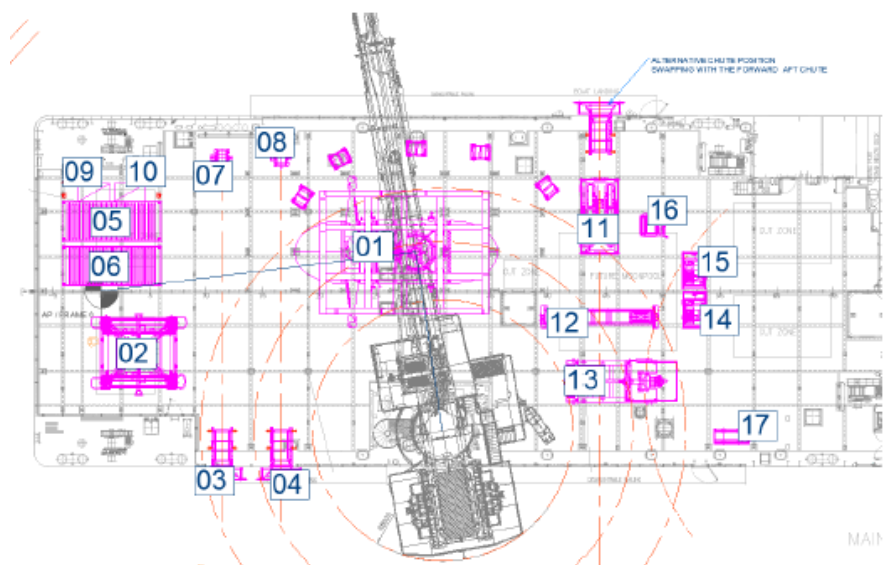
Figure 10 : caractéristique de l'équipement pour dérouler le câble d'export

Ce matériel s'est avéré adapté hormis deux points :

- Le câble est souvent sorti des gorges du *tensionner* sans raison apparente, la vitesse de pose a dû être réduite ;
- L'arbre du dérouleur sur lequel repose le touret a fléchi sous le poids du touret un nouvel arbre a dû être installé.

L'agencement initial du pont du bateau est présenté sur la figure ci-dessous. Nous pouvons voir que l'encombrement est très dense. Le fait de scinder l'opération en deux phases, a permis de libérer le pont et, ainsi, de gagner en confort de travail. En effet, la manutention de câble nécessite beaucoup d'espace et ce type de manutention devait avoir lieu durant les deux phases :

- L'atterrage du câble d'export ;
- La gestion de la bretelle (130 mètres) lors de l'immersion de la nacelle.



ITEM NO.	ITEM DESCRIPTION	WEIGHT (te)
1	TURBINE & BERTH	135
2	TURBINE LARS & BERTH	15
3	AFT CHUTE	6
4	FWD CUTE	6
5	MACARTNEY CONTAINER	12
6	RIGGING CONTAINER	12
7	AFT TUGGER WINCH	1.02
8	FWD TUGGER WINCH	1.02
9	AFT TUGGER WINCH HPU	1.3
10	FWD TUGGER WINCH HPU	1.3
11	CABLE TENSIONER	7.8
12	CABLE LEVEL WINDER	1.89
13	CABLE REEL & DRUM(CABLE)	38
14	REEL DRIVE HPU	1.36
15	TENSIONER HPU	1.36
16	TENSIONER CONTROL CABIN	1.1
17	TOOLBOX	2
18	ROLLER BOX 1	0.27
19	ROLLER BOX 2	0.27
20	ROLLER BOX3	0.27
21	ROLLER BOX 4	0.27
22	ROLLER BOX 5	0.27

Figure 11 : agencement du pont du bateau

Deux ROVs ont également été affrétés en même temps que le navire, ces derniers étaient équipés de nombreux outils (caméra, pince, couteau, ...).

2. Pose de la turbine

2.1. Déroulement

L'opération de pose de la turbine se découpe en plusieurs étapes :

- Le levage de la turbine qui consiste à sortir l'hydrolienne de son ber tout en faisant suivre la bretelle de câble ;

- Le débordement de la turbine, soit la rotation de la turbine autour de l'axe de la grue puis la descente jusqu'à la surface afin de remplir progressivement les bulbes ;
- La descente de la turbine jusqu'à l'embase ;
- L'encastrement de la turbine dans l'embase ;
- La pose de la bretelle de câble.

2.2. Contraintes opérationnelles

La pose de la turbine est une opération sensible aux conditions de houle c'est pourquoi cette dernière a été réalisée le 05/04 avant l'arrivée de la dépression. Les conditions étaient tout de même complexes puisqu'il y avait près d'un mètre de hauteur significative (valeur limite pour cette opération) et que les coefficients étaient encore de 79-73.

La houle impacte surtout les opérations de levage avant l'immersion puisqu'elle engendre un balancement de la turbine une fois cette dernière sortie de son ber.

Les forts coefficients impactent le temps disponible pour l'opération puisque les étales sont plus courtes, notamment à cause de ROVs qui ne peuvent être immergés que lorsque les vitesses d'eau sont inférieures à 2 nœuds.

2.3. Levage et débordement

Le levage et le débordement de D10 avec le Normand Superior ont permis à MHE de valider la capacité du navire à déployer les embases du projet Tiger. Le golfe du Morbihan étant très protégé de la houle et du vent, les risques de balancement seront extrêmement réduits par rapport au projet D10.



Figure 12 : débordement de la turbine D10

2.4. Descente de la turbine

Une fois les bulbes remplis, la descente de la turbine a nécessité près de 20 minutes. Le doigt de centrage de la nacelle est alors centré avec le cône de guidage de l'embase.

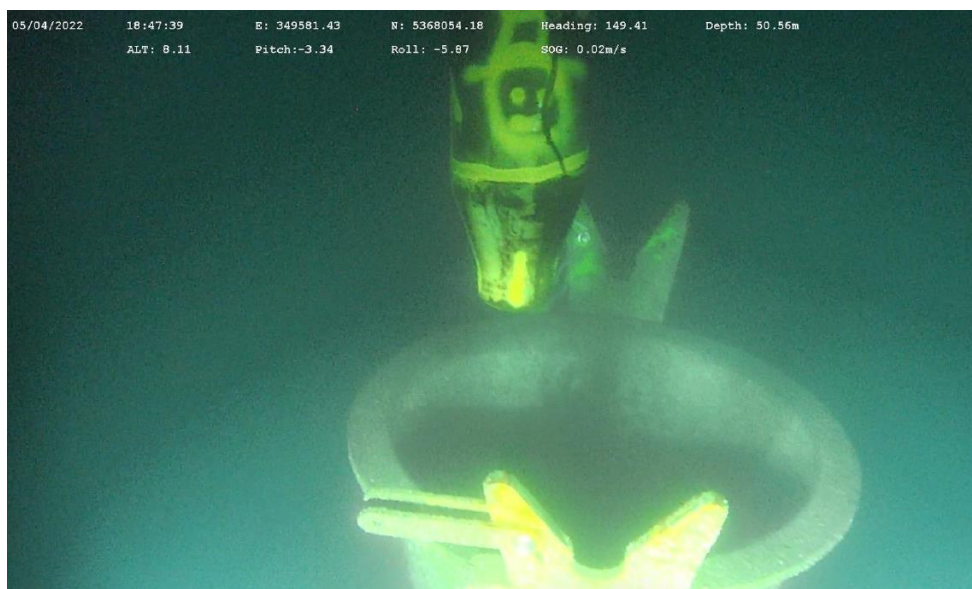


Figure 13 : le pin de la nacelle approche du cône de l'embase

À ce stade la grue entre en mode *Active Heave Compensation - AHC*, la descente est plus lente mais le pilonnement dû à la houle est compensé par la grue pour la phase d'encastrement.

2.5. Encastrement de la turbine

Le bon déroulement de cette opération nécessite dans un premier temps d'engager le doigt dans le cône, cette opération étant généralement réalisée à l'étale les performances de positionnement dynamique du navire, en termes de correction, impactent peu le succès de cette phase. En revanche la précision de déplacement du navire est importante puisque l'alignement dans le plan horizontal est principalement géré par ce dernier. Le Normand Superior a parfaitement répondu aux attentes sur ce sujet.

La houle quant à elle, peut influencer sur le déplacement horizontal du pin. La facilité de cette opération dépend, en outre, du ratio entre la surface libre du cône de l'embase et surface pleine du doigt de centrage de la nacelle. Le tableau ci-dessous dresse un comparatif entre ces dimensions pour les D08 et la D10.

/	Doigt de centrage [mm]	Cône de centrage [mm]	Ratio de surface [-]
D10	457	2054	0,049503
D08	320	1466	0,047646611

Tableau 5 : système d'encastrement de la nacelle dans l'embase

Cette opération a montré que les proportions de ce système de guidage sur le démonstrateur D10 sont satisfaisantes. Dans le golfe du Morbihan la houle étant moins prononcée, MHE estime que cette opération ne présentera pas de difficulté avec les D08.

Une fois la nacelle engagée dans l'embase et pour finaliser l'encastrement il faut gérer la rotation de la machine pour que les ergo anti-rotation s'aligne correctement. La turbine disposant d'une importante surface face au flux incident, la moindre vitesse d'eau résiduelle entraine sa rotation. Cette dernière a été corrigée partiellement par les treuils de la grue (tuggers) qui sont reliés aux extrémités du LARS. Cependant, la profondeur du Fromveur est telle que l'angle entre la grue et le LARS était trop faible pour gérer l'alignement à l'aide de ces treuils. L'axe du navire a donc dû être reconfiguré de quelques degrés pour obtenir le bon alignement.



Figure 14 : photographie illustrant les difficultés rencontrées lors de l'encastrement de la nacelle dans l'embase.

Cet alignement est d'autant plus difficile à gérer qu'il doit être réaliser des deux côtés de la turbine simultanément et ce, en n'ayant le visuel que sur l'un d'entre eux avec le ROV. Cette deuxième phase a nécessité 28 minutes. Un gain de temps significatif pourrait être réalisé sur cette étape en prévoyant, dès la conception, un système de guidage qui gère l'orientation de la nacelle au fur et mesure de son s'encastrement dans l'embase.

2.6. Pose de la bretelle

Un fois la nacelle posée, le LARS est libéré puis rapatrié sur le pont. La bretelle de câble peut ensuite être engagée dans les guides de câble puis déposée sur le fond marin jusqu'au connecteur Drymate., cette dernière étape peut être réalisée sans ROV en déplaçant le navire.

Les vitesses d'eau sont redevenues trop importantes et les ROVs ont dû être rapatriés avant que la bretelle ne soit correctement placée dans les guides de câble. La bretelle a donc été

maintenue en attendant la prochaine étale qui a par conséquent été entièrement dédiée à la finition de cette opération.

Le fait de maintenir le câble sur le pont entre deux étales présente toujours un risque, en effet dans le cas d'une défaillance du système de positionnement dynamique le câble doit être abandonné rapidement. Dans le pire des cas, le câble est alors découpé à l'aide d'une tronçonneuse thermique, ce qui entraîne des dommages irréversibles.

2.7. Conclusion

Bien que la fenêtre opérationnelle, à cause des forts coefficients, fut limitée, l'opération s'est bien déroulée. L'utilisation d'un meilleur système de guidage, la nécessité d'avoir des ROV ainsi que la technologie dry-mate, du fait de la pose de la bretelle, ont engendré des pertes de temps significatives et donc la nécessité de réaliser l'opération sur deux étales. Cela a pour conséquence :

- Avérée : une perte économique ;
- Potentielle : risque de devoir coupé le câble en cas de défaut DP entre les deux étales (non avérée cette fois-ci).

Cette opération a notamment permis à MHE de mener une analyse comparative permettant de définir la durée de renverse nécessaire pour déployer une D08. Cette analyse se base sur :

- La comparaison des durées de renverse, par coefficient, entre le Fromveur et le passage de la jument ;
- Le temps de descente nécessaire pour D10 et pour les D08 ;
- Les gains de temps potentiels grâce au système d'alignement des D08 ;
- Les gains de temps potentiels grâce au système Wet-mate ;
- L'estimation de l'augmentation de la fenêtre opérationnelle en utilisant pas de ROV.

Au vu de ces informations le déploiement des D08 par un navire identique au Normand Superior pourra être réalisé jusqu'à un coefficient de marée 75.

3. Pose du câble

3.1. Préparation du câble

Le nouveau câble d'export a été pré-roulé sur le touret, l'extrémité du câble située sur le tambour du touret a été placée dans le compartiment séparé du touret afin de rester accessible. De cette manière, le connecteur dry-mate a pu être monté sur le câble et fixé sur le touret avant l'opération. Cette procédure sera reproduite pour la pose des câbles de D08 par MHE (équipés des interfaces Wet-Mate dans ce cas) car elle permet de réduire les risques et les coûts de l'opération.

Ce choix entraîne tout de même quelques contraintes minimales à prendre en considération dont notamment :

- L'augmentation de l'espace libre nécessaire entre la palette du dérouleur de câble et son axe (la bride du connecteur dépassant du diamètre extérieur du touret) ;
- L'ajout de lests sur le touret pour le rééquilibrer.

À l'avenir, l'extrémité libre d'un câble stocké sur un touret devra être maintenue en tension par un palan. En effet au fil des années le câble s'est desserré autour de l'axe du touret. Dans un cas plus grave il aurait pu être nécessaire de dérouler l'ensemble du câble et de le ré-enrouler. Dans le cadre du projet TIGER, MHE exigera des preuves du bon stockage du câble avant d'en accepter la responsabilité pour l'installation. En effet, les câbles du projet Tiger étant plus courts, ils présentent moins d'adhérence et sont donc plus susceptibles de se desserrer.

Cette extrémité a notamment été équipée d'une tête d'abandon définitive permettant de protéger et de tirer le câble pendant l'atterrage. Cette dernière s'avèrera très lourde et contraignante pour le repositionnement du câble, à l'avenir des tête d'abandon temporaires, plus légères, pourront être utilisés pour ce type d'opération.



Figure 15 : (à gauche et en haut à droite) photos du nouveau touret de câble d'export avec les deux extrémités accessibles et le connecteur dry-mate monté au préalable, (en bas à droite) la tête d'abandon

3.2. Atterrage du câble

Pour limiter les manutentions et les risques de dommages sur les câbles, les postes de livraison ou chambres d'atterrage sont généralement situés dans l'axe de tirage et à proximité immédiate du lieu d'atterrage. Dans le cadre du projet D10 cela n'était pas possible, le câble doit longer une digue remonter le tombant rocheux pour finir dans une tranchée où le nouveau et l'ancien câble serait alors raboutés.

La maîtrise des longueurs de câble tout au long de cette opération est une condition sine qua non de la réussite de cette dernière.

La Figure 16 montre le schéma de principe de cette opération.

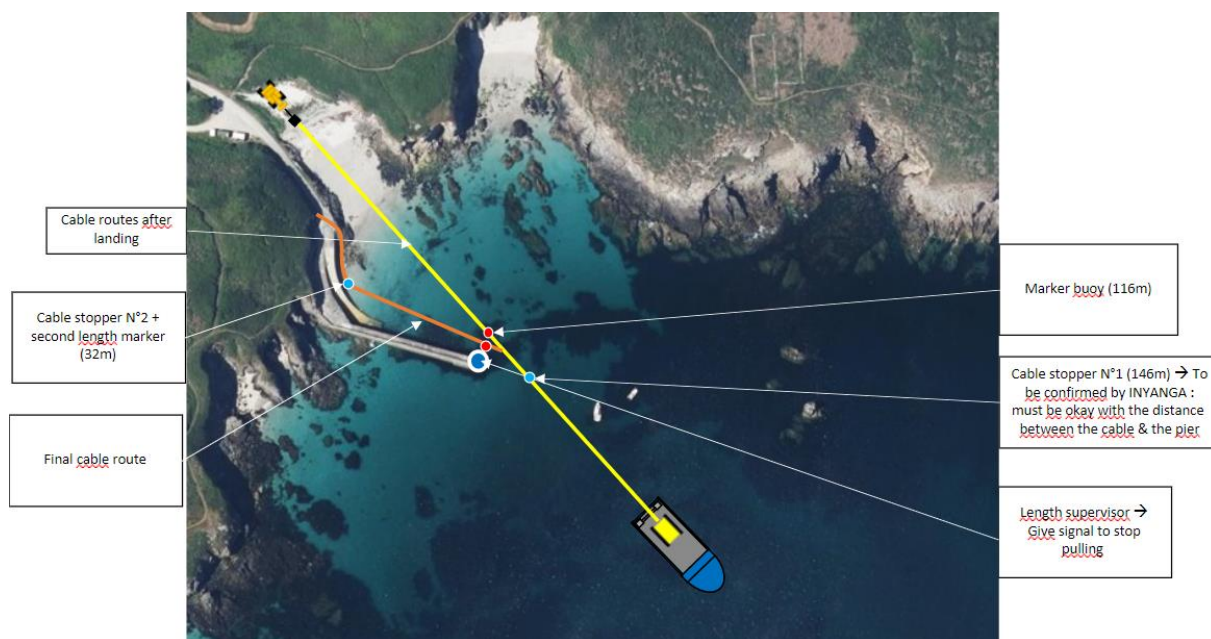


Figure 16 : schéma de principe de l'opération, en jaune la position initiale du câble, en orange sa position finale.

La procédure mise en place par les équipes de SABELLA se décompose ainsi :

- *Étape 1 - atterrage d'un filin de tirage* : ramené à terre à l'aide d'un bateau de support.



Figure 17 : atterrage du filin

- *Étape 2 - atterrage du câble d'export.*

Le câble est tiré par des engins de chantier dont l'axe de tirage a été libéré en plaçant une poulie de renvoie fixée sur une minipelle postée sur la plage. Pour contrôler la force de tirage un peson a été placé sur l'engin de tirage. Le câble est maintenu en flottaison par des bouées qui sont fixées depuis le navire. Les figures suivantes montrent ces dispositifs.



Figure 18 : dispositif pour l'atterrage du câble

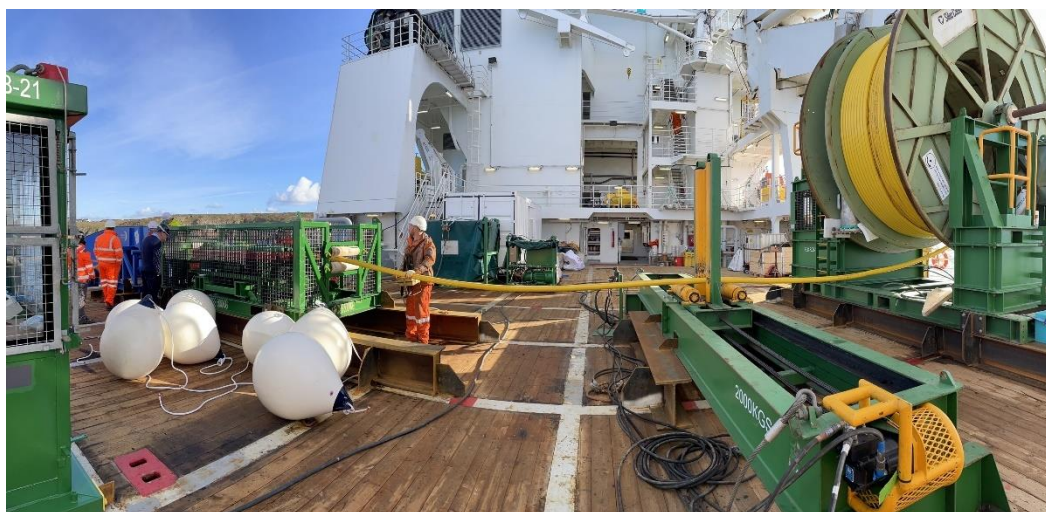


Figure 19 : mise en place des bouées depuis le navire

L'espace disponible entre le *tensionner* et la chute était très réduit, de ce fait, l'installation des bouées ne pouvait être réalisé que par deux opérateurs, ce qui a considérablement ralenti l'opération.

Les bouées A4 se sont avérées peu fiables, certaines se sont décrochées, ce qui a retardé l'opération et augmenté le frottement du câble et de ce fait, la traction à appliquer depuis la terre. Dans le cadre du projet Tiger, MHE utilisera exclusivement des bouées de type SeaFlex Float..

- *Étape 3 – repositionnement du câble.*

Une bouée permettant de repérer la longueur du câble à tirer est fixé sur un linéaire préalablement définit. Une fois celle-ci alignée avec un repère à terre, le câble est sécurisé par une gueuse, il peut alors être repositionné le long de la digue et sur le tombant rocheux (Figure 20). Pour ce faire une poulie de renvoi a été placée sur les points d'arrimage de la cale permettant aux engins de chantier de repositionner ce dernier.



Figure 20 : repositionnement du câble le long de la digue et sur le tombant rocheux

Une fois le câble parfaitement repositionné les bouées peuvent être enlevées à l'aide du bateau de support. Le raboutage et la pose du câble peuvent alors commencer.

3.3. Pose du câble

Une fois l'extrémité terrestre du câble libérée et à disposition dans la tranchée, l'entreprise de connectique a validé la longueur disponible et ainsi pu procéder au raboutage. Dès lors, la pose du câble a pu commencer.

Cette opération requiert une très bonne précision pour que la connexion puisse être réalisée. En effet, la turbine étant déjà immergée et la longueur de bretelle disponible ne pouvant être modifiée, la position finale de connecteur drymate devait être respectée à quelques mètres près.

Pour maîtriser au mieux la position du câble sur le fond marin le navire est déporté en amont du flux à une distance dépendant des vitesses d'eau. Ce recalage est réalisé en temps réel, tout au long de l'opération. Enfin la position réelle du câble a été monitorée à l'aide de balises acoustiques positionnées à intervalles réguliers. De cette manière la position réelle du câble pouvait être comparée à sa position théorique et ainsi redéfinir une route de câble plus longue ou plus directe si nécessaire.

Cette procédure, combinée aux performances en positionnement du navire, a permis de poser le connecteur à deux mètres de l'emplacement désiré sur une longueur totale de près de 1800 mètres.



Figure 21 : connecteur posé sur le fond

L'état du câble a été évalué depuis la terre tout au long de l'opération. Pour ce faire un suivi optique et des mesures d'isolement ont été réalisées en continu, permettant ainsi de s'assurer de la bonne étanchéité et intégrité du câble.

3.4. Raboutage du câble

L'opération de raboutage consiste à réaliser un lien entre l'ensemble des brins de l'ancien et du nouveau câble d'export. Ce type d'opération peut être désynchronisée des opérations maritimes, mais l'objectif était de tester D10 tant que le navire se trouvait sur site. Cela a donc nécessité une très bonne coordination (notamment pour les suivis optiques et électriques cités précédemment) entre les équipes à terre et les équipes en mer mais également la mobilisation de l'ensemble des équipes de SABELLA.

Cette jonction aurait pu être réalisée en mer mais cela aurait nécessité 36h d'attente avant de pouvoir poser le câble et donc prolonger l'opération.

3.5. Bilan de l'opération

Cette opération complexe est très similaire à celle qui devra être réalisée par MHE dans le golfe du Morbihan. En effet le câble devra contourner une exploitation ostréicole, puis remontée la plage pour être rabouter avec un câble terrestre préalablement installé. La disponibilité d'engins de chantier est également limitée sur les deux sites, sur Ouessant, du fait de son caractère insulaire et dans le Golfe du Morbihan, pour des raisons d'accessibilités. Cette opération constitue donc un retour d'expérience majeur pour MHE et permet par conséquent de dé-risquer fortement les opérations maritimes du projet Tiger.

4. Connexion

Une fois le câble posé, la connexion avec la bretelle et la turbine peut avoir lieu. Les deux connecteurs dry-mate sont alors rapatriés sur le pont et la connexion peut commencer. Durant cette phase, des tests sont réalisés en continu depuis la terre pour s'assurer de la bonne réalisation de la connexion et du bon fonctionnement de l'hydrolienne.

Une fois le fonctionnement validé, la connectique peut être immergée.



Figure 22 : immersion de la connectique

Cette opération permet à MHE se conforter dans le choix d'une technologie Wetmate pour le déploiement des D08. En effet cette opération nécessite près de 18 heures supplémentaires avec une technologie drymate. De plus le câble d'export et la bretelle sont sur le pont du bateau pendant les pics de courants, dans le cas d'une perte DP les connecteurs abandonnés ouverts ou le câble sectionné, engendrant, de fait, des dommages irréversibles. Le risque induit par cette technologie est donc important.

5. Pose des ADCP

La pose des ADCP a été réalisé en fin d'opération. Les ADCP ont été déployés selon la norme IEC 62600-200. Afin d'éviter des plongées ultérieures, les stations ADCP ont été équipés de compas spécifiquement fait pour être visibles sur des images ROV. De cette manière l'assiette des ADCP a pu être directement réglée dès leur déploiement. Cette opération a démontré, une fois de plus, les bonnes performances du navire.

MHE reproduira cette procédure dans le cadre du projet Tiger.



Figure 23 : station ADCP équipée d'un compas ROV

6. Bilan sur la technologie Wetmate des D08

6.1. Alignement

L'opération a clairement démontré que les performances de positionnement du navire sont suffisantes. Cependant l'encastrement de la nacelle dans l'embase, notamment dans le cas d'utilisation de technologie Wetmate passive, doit être simplifié au maximum par le design du système de guidage. La conception de ce système doit impliquer les responsables des lots suivants :

- Nacelle ;
- Embase ;
- Opération offshore ;
- Connectique.

6.2. Gestion des efforts

Lors de la phase d'encastrement le poids affiché par la grue a été monitoré. Cela a permis à MHE de challenger les hypothèses de compression à appliquer pour la connexion passive du système Wet-Mate.

Il a logiquement été constaté que le mode AHC permet de réduire les accélérations et donc les efforts qui seraient appliqués sur le système de connectique. Cette technologie sera une exigence nécessaire pour l'affrètement des navires en charge de la pose des D08.

6.3. Avantage Wet-Mate Vs Dry-Mate

Cette opération a permis de conforter le choix d'une Wet Mate. Alors que l'inconvénient majeur de cette technologie est son coût d'investissement, les avantages sont nombreux :

- Gain de temps significatif lors des opérations de relève et de repose
- Limitation des risques opérationnels vis-à-vis des pertes DP.
- Indispensable à l'échelle de grande ferme pour la gestion des routes de câble.

7. Performances de positionnement dynamique

7.1. Essais DP

La précision de positionnement du bateau et les risques de défaillance du système de positionnement dynamique dépendent fortement des facteurs météorologiques et notamment :

- De la houle ;
- Du vent ;
- Du courant.

Durant cette opération des essais de positionnement dynamique ont été réalisés à deux reprises, le premier à l'arrivée du navire sur site et le deuxième lors de son retour sur site en fin de dépression. Ces deux essais se sont avérés complémentaires puisque les contraintes météo-océaniques étaient fortement différentes. Le tableau ci-dessous résume les conditions dans lesquelles ont été menées ces essais.

Date	Houle	Vent	Vitesse d'eau
05/04/2022	Hs = 1m Tp = 12s	10 nœuds	6,2 nœuds
08/04/2022	Hs = 3,5 m TP = 10,5 s	35 nœuds	3 nœuds

Tableau 6 : conditions dans lesquelles les essais DP ont été réalisés

7.1. Performances en forte mer

Au retour sur site, lors de la deuxième partie de l'opération, les conditions de houle et de vent étaient encore significatives. Des opérations ont tout de même pu être réalisés et notamment la préparation, l'élingage, et le relevage d'une station ADCP.

Le figure ci-dessous montre les conditions de mer et les mesures de l'anémomètre de la passerelle (en noeuds) quelques heures avant l'opération sur l'ADCP.

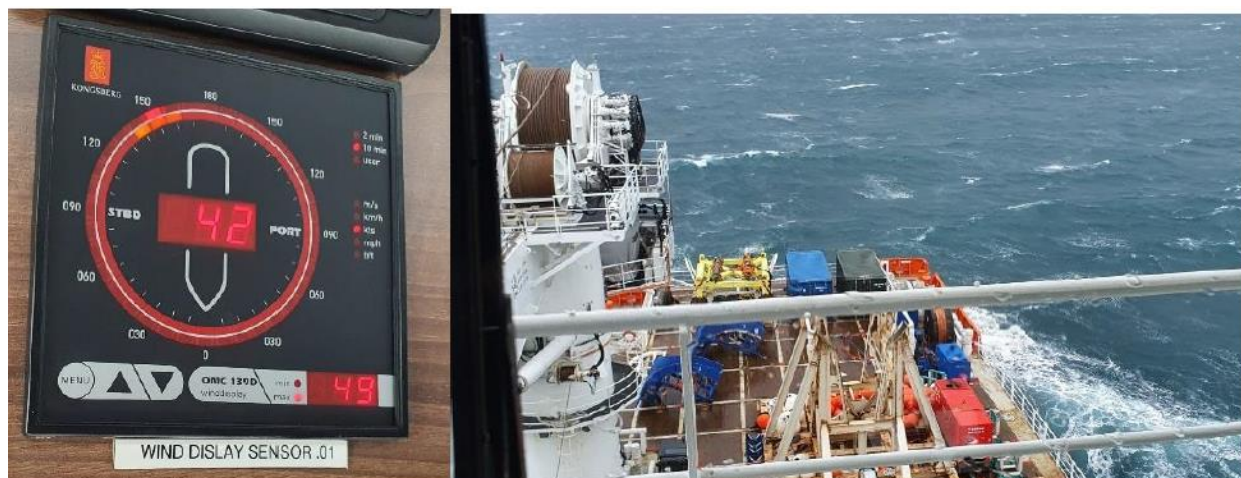


Figure 24 : conditions météo au retour sur site

Les figures ci-dessous montre les opérations réalisées sur l'ADCP par près de trois mètres de houle. L'opération comprenait les étapes suivantes :

- Sectionner et retirer une ancienne élingue ;
- Passer deux élingues dans les anneaux de levage d'un diamètre de 40mm ;
- Accrocher les élingues sur le crochet de grue ;
- Rapatrier la station ADCP sur le pont.

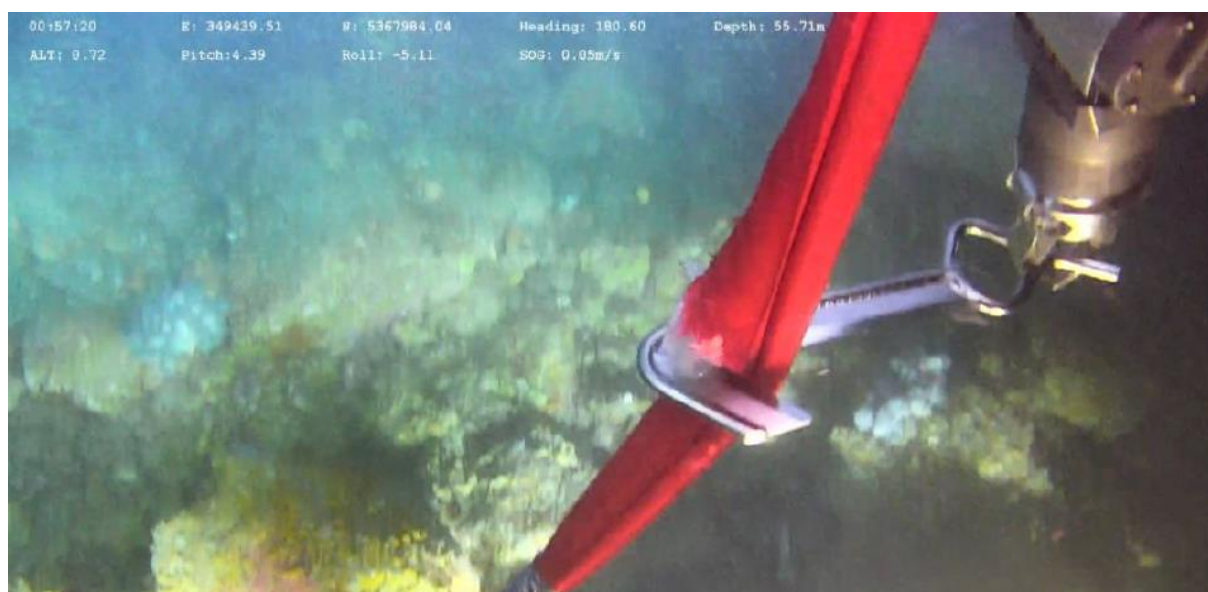


Figure 25 : découpe de l'ancienne élingue

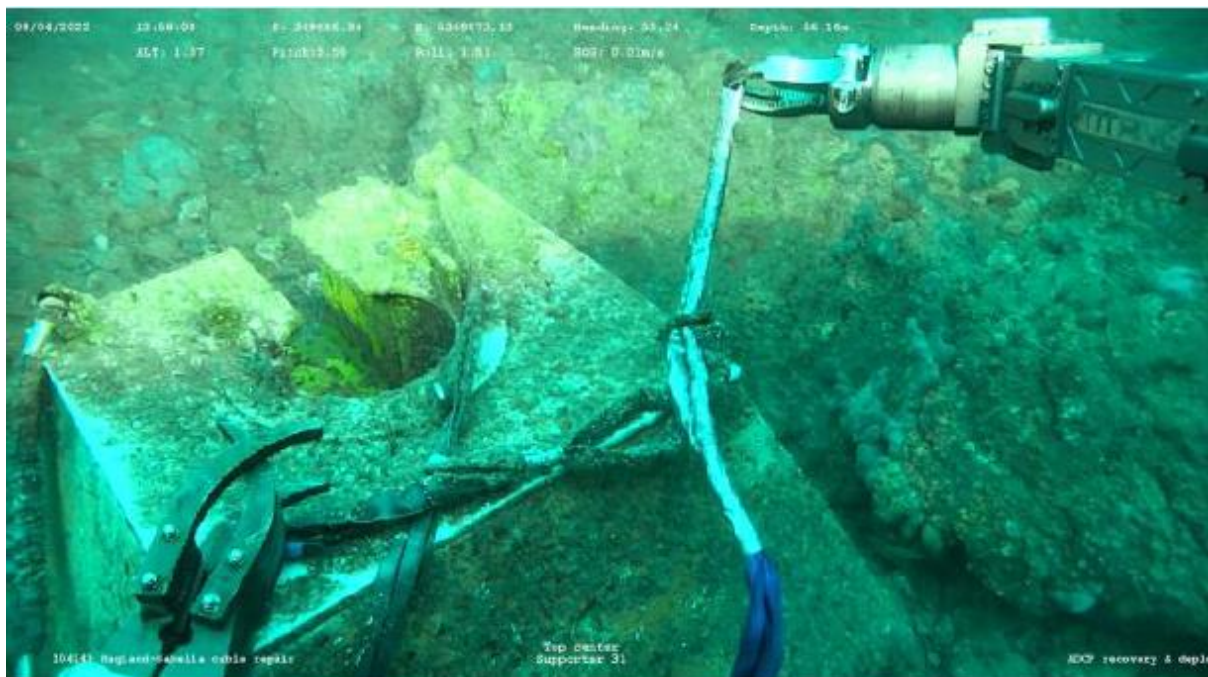


Figure 26 : élingage de la station ADCP

7.2. Bilan

L'ensemble des essais et des opérations menées par le Normand Superior permettent de conforter MHE sur les performances de positionnement et donc sur la capacité de ce navire et à réaliser les opérations maritimes du projet Tiger. Et ce, notamment, vis-à-vis du choix de technologique que constitue l'intégration d'une connectique Wetmate.

8. Synthèse des retours d'expériences issus de l'opération

Le tableau suivant synthétise, par phase, le retour d'expérience apporté par cette opération.

Phase d'opération	Procédure		Design		
	Point positif	Point négatif	Point positif	Point négatif	Amélioration possible
Levage de la turbine	- Opération réalisée avec succès	- Forte dépendance aux conditions de houle - Gestion de la bretelle de câble complexe et risquée	- Dimensions et masse compatibles avec le navire	- Connexion drymate qui nécessite une bretelle de câble	- Connectique Wetmate
Descente de la turbine	- Opération réalisée avec succès	- Synchronisation parfaite nécessaire entre les équipes de manutention sur le pont et le grutier pour maintenir la bretelle hors tensions	[]	- Connexion drymate qui nécessite une bretelle de câble	- Connectique Wetmate
Encastrement de la turbine	- Performances du navire - Choix d'un navire équipé de la technologie AHC	- Visuel sur un seul côté de la turbine possible - Alignement final réalisé en modifiant l'axe du navire - Perte de temps	- Dimensions du cône de guidage et du doigt de centrage satisfaisantes	- Le système de guidage n'assure pas la bonne orientation de la turbine	- Système de guidage permettant d'imposer l'axe d'orientation de la turbine pendant son encastrement
Pose de la bretelle	- Opération réalisée avec succès	- Opération réalisée sur deux étales par manque de temps, bretelle maintenue entre le navire et la turbine impliquant des dommages potentiellement irréversibles en cas d'abandon dû à un échec DP. - Encastrement de la bretelle dans les guides de câble fastidieux	- Choix du type et du nombre de <i>bend restrictor</i>	- Présence d'une bretelle - Longueur de bretelle trop importante	- Connectique Wetmate
Préparation du câble	- Connecteur assemblé sur le câble en avance de phase - Installation d'une tête d'abandon sur l'extrémité terrestre	- Câble libre sur le touret, un palan aurait permis de maintenir la tension	[]	- Poids de la tête d'abandon	- Tête d'abandon temporaire plus légère
Atterrage du câble	- Poulie de renvoi permettant de figer l'axe de tirage et de libérer les engins de tirage de cette contrainte - Utilisation d'une gueuse pour sécuriser le câble une fois la bonne longueur atterrée - Maîtrise des longueurs - Procédure de repositionnement adaptées aux contraintes du site	- Bouées A4 à banir pour ce type d'opération - Repositionnement préférable à marée haute pour limiter les contraintes de levage - Espace restreint entre la chute et le tensioner pour installer les bouées sur le câble	- Câble léger	- Poids de la tête d'abandon	- Tête d'abandon temporaire plus légère - Bouée Seaflex Float à privilégier - Navire AHTS plus adapté pour cette opération
Pose du câble	- Positionnement du bateau en fonction des vitesses d'eau (abaques) parfaitement réalisé - Mise en place de balises acoustiques pour le suivi en temps réel de la position du câble - Tests optiques et électriques pour suivre l'intégrité du câble	[]	[]	- Câble léger fortement soumis au vitesse de courant	- Choisir un câble plus lourd
Raboutage	- Bonne coordination des équipes à terre et en mer - Permet de tester la machine avant que le navire ne quitte le site - Réalisation à terre permettant un gain de temps significatif sur l'opération maritime	[]	- Design de la boîte de jonction	[]	[]
Pose des ADCP	- Utilisation de compa ROV et gestion de l'assiette finale lors du déploiement avec le navire	[]	[]	[]	[]

Tableau 7 : tableau récapitulatif des retours d'expériences techniques et opérationnels due l'opération d'avril 2022

Conclusion

Le rapport contient une description détaillée d'un déploiement hydrolien. Ces informations bénéficieront au tissu industriel proche mais également à un public plus large. De ce fait, la filière bénéficiera d'une meilleure appropriation de ses enjeux, améliorant ainsi l'acceptabilité de ce type de projet. L'opération menée par l'équipe SABELLA dans le cadre du projet D10 aura permis de valider de nombreux choix techniques et opérationnels indispensable à MHE dans le cadre du projet TIGER et du déploiement des deux D08.