

Projet de faisabilité technique et économique du parc éolien offshore flottant « Atis » de 864 MW dans la mer Ligure, au large des côtes toscanes

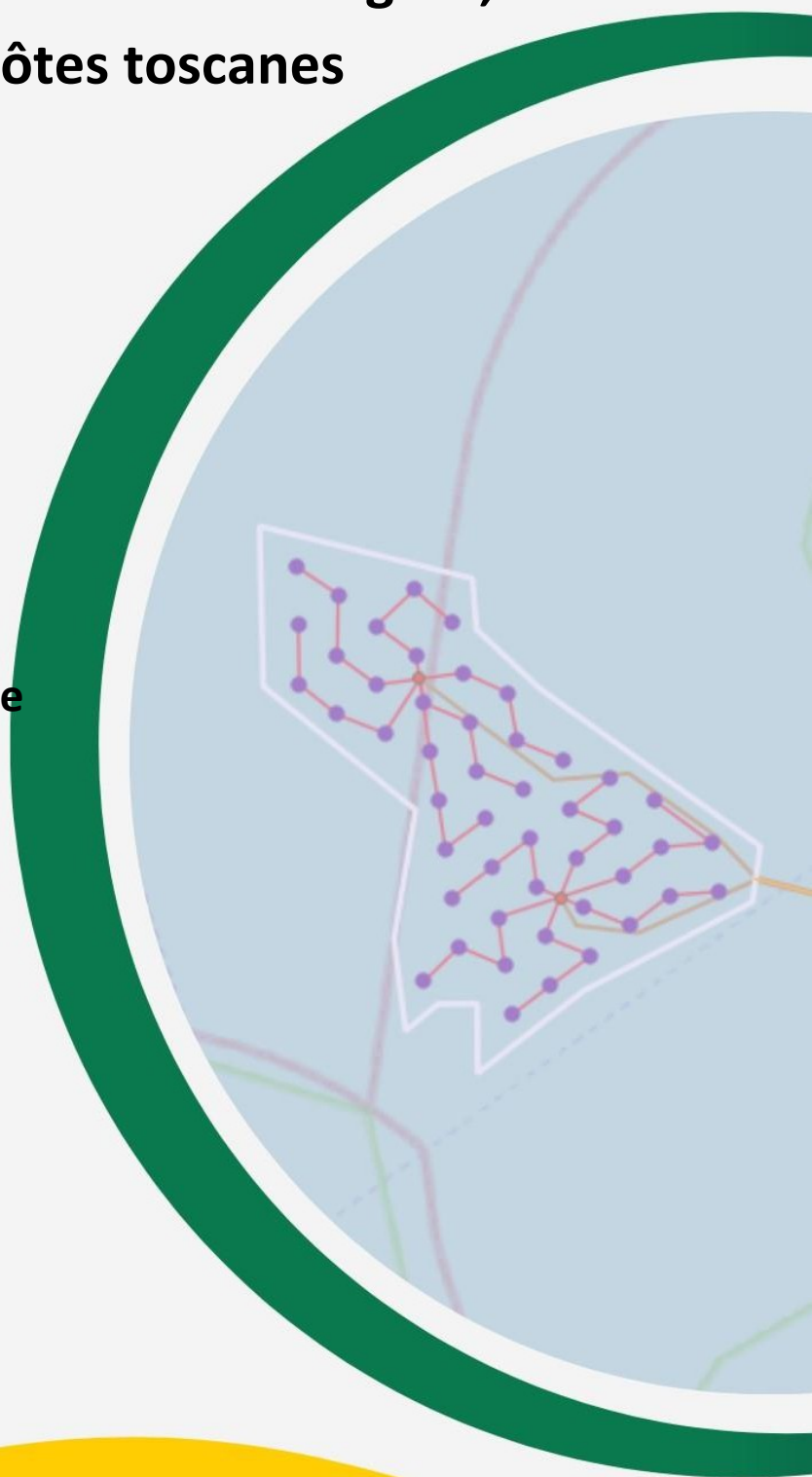
Rapport sur les activités de construction, d'installation et de mise en service des ouvrages



Signé numériquement par :
Laura Maria Conti
Date : 12/12/2024

16:38:

CONFIDENTIEL : la publication de tout ou partie de ce document (ou de tout document similaire ou dérivé) à des tiers est strictement interdite, sauf autorisation expresse d'Atis Floating Wind S.r.l. Toute publication non autorisée de tout ou partie de ce document (ou de tout document similaire ou dérivé) constituera une violation de la confidentialité.



Révision

Auteur	Vérfié par	Société	Réviséur	Approuvé par	Société
Carla Marcis Francesca Sanna Matteo Lana	Carla Marcis Eleonora Lamanna Corrado Pluchino	Montana SpA	Loreta Bruni Valerio Labattaglia	Enrico Testa	Eni Plenitude S.p.A

Document préparé par

Montana S.p.A

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, Milan (MI), 20143, Italie

✉ segreteria@montanambiente.com

Ramboll

Ramboll Deutschland GmbH
Jürgen-Töpfer-Straße 48
22763
Hambourg
Allemagne

✉ info@ramboll.de



Coordonnées de la société

Atis Floating Wind S.r.l

Numéro d'inscription au registre du commerce :
12645610960 Via Ripamonti 85, Milan (MI), 20141,
Italie

✉ Atisfloatingwind@legalmail.it

Contenu

1	Introduction	9
1.1	Objectifs du travail	9
1.2	Présentation du projet	9
1.2.1	Emplacement du parc éolien	9
1.2.2	Description des principaux composants.....	10
1.2.3	Caractéristiques de l'éolienne	12
1.2.4	Types de fondations	12
2	Planification des marchés publics.....	15
2.1	Stratégie de lotissement et d'appel d'offres	15
2.1.1	Fourniture et installation WTG.....	16
2.1.2	Fourniture et installation des structures flottantes pour les WTG	16
2.1.3	Fourniture et installation d'amarres et d'ancre.....	16
2.1.4	Fourniture et installation d'une sous-station offshore	17
2.1.5	Fourniture et pose de câbles inter-réseaux	17
2.1.6	Fourniture et pose de câbles d'exportation (EC).....	17
2.1.7	Fourniture et construction de la sous-station onshore.....	18
2.1.8	Alimentation et pose du câble terrestre	18
2.2	Activités connexes	18
3	Considérations générales.....	19
3.1	Hypothèses générales.....	19
3.2	Caractéristiques des turbines.....	19
3.3	Caractéristiques des sous-stations offshore et des câbles	20
3.4	Méthode de réalisation des travaux.....	21
3.5	Logistique	22
3.5.1	Fabrication des fondations flottantes	22
3.5.2	Assemblage WTG et fondation flottante.....	25
3.5.3	Stockage humide.....	26
3.6	Transport et installation	26
3.6.1	Aperçu	26
3.6.2	Véhicules et bateaux.....	27
3.6.3	Activités préalables à la construction.....	29
3.6.4	Installation des amarres.....	30

3.6.5	Mise à l'eau des fondations flottantes (Floater)	32
3.6.6	Transport du flotteur	33
3.6.7	Installation du flotteur	33
3.6.8	Installation de la sous-station offshore	34
3.6.9	Installation des câbles	35
3.6.10	Temps d'arrêt dû aux conditions météorologiques.....	36
3.7	Mise en service	38
4	Étude du port	40
4.1	Sélection des ports	40
4.1.1	Port d'attache pour les amarrages.....	40
4.1.2	Assemblage des fondations flottantes pour les éoliennes (Floater)	41
4.1.3	Assemblage des éoliennes.....	41
4.1.4	Sous-station offshore.....	41
4.2	Aperçu des ports.....	42
5	Plan de construction du projet.....	44
5.1	Plan général.....	44
5.2	Méthode de fabrication de la fondation flottante des éoliennes	46
5.2.1	Étapes de fabrication.....	46
5.2.2	Montage des éoliennes	48
5.2.3	Stockage humide	51
5.3	Fabrication de sous-stations offshore	52
5.4	Méthode de transport et d'installation	53
5.4.1	Transport et installation de l'amarrage	53
5.4.2	Transport et installation des câbles inter-réseaux et d'exportation	54
5.4.3	Transport et installation de la sous-station offshore	55
5.4.4	Transport et installation de la fondation flottante (Floater).....	56
5.5	Mise en service.....	59
5.5.1	WTG	59
5.5.2	Floater	59
5.5.3	Sous-station offshore.....	59
5.5.4	Sous-station onshore	59
6	Conclusions	60
7	Références bibliographiques.....	61

Liste des figures

Figure 1-1 : Localisation cartographique du parc éolien en projet	9
Figure 1-2 : Cadrage géographique des travaux du projet « Atis ».....	11
Figure 1-3 : Type de semi-submersible à 3 colonnes, avec tour centrale	13
Figure 1-4 : Type de semi-submersible à 4 colonnes, avec base rectangulaire.....	13
Figure 1-5 : Représentation tridimensionnelle de l'éolienne et de la fondation flottante.....	14
Figure 1-6 : Dessin d'ensemble de la sous-station marine (FOSS) et de la fondation flottante.....	14
Figure 2-1 : Exemple de stratégie contractuelle pour les turbines et les ouvrages auxiliaires	15
Figure 3-1: Exemple de construction flottante à l'intérieur d' un bassin de carénage. Source : upstreamingonline.com.....	23
Figure 3-2 : Simulation d'un chantier de montage. Source : Saipem	24
Figure 3-3 : Concept de Stiesdal pour la construction de parcs éoliens flottants sur une rampe de mise à l'eau	25
Figure 3-4 : Facteur WDT mensuel pour l'installation Atis, en tenant compte de 6h WW, 1,5m Hs, 10m/s Ws,	37
Figure 4-1 : Aperçu des ports	42
Figure 5-1 : Aperçu du plan d'exécution Atis	44
Figure 5-2 : Évolution du stockage humide dans le temps (les valeurs du graphique représentent le nombre d'unités) ..	51

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Caractéristiques dimensionnelles des éoliennes de 18 MW envisagées pour le projet	12
Tableau 3-1 : Principales caractéristiques de la fondation flottante	19
Tableau 3-2 : Caractéristiques principales des câbles inter-réseaux et des câbles d'exportation	20
Tableau 3-3 : Principales caractéristiques des sous-stations flottantes (FOSS)	20
Tableau 3-4 : Aperçu de la méthode de fabrication des flotteurs	22
Tableau 3-5 : Activités de transport	27
Tableau 3-6 : Activités de construction	28
Tableau 3-7 : Opérations d'installation de l'amarrage	31
Tableau 3-8 : Méthode de transport du flotteur	32
Tableau 3-9 : Étapes d'installation de la structure flottante	34
Tableau 3-10 : Description de l'opération d'accrochage du FOSS	35
Tableau 3-11 : Activités d'installation des câbles inter-réseaux	35
Tableau 3-12 : Activités d'installation des câbles d'exportation	36
Tableau 3-13 : Données WDT	36
Tableau 3-14 : facteur WTD par rapport aux activités	37
Tableau 4-1 : Nomenclature des ports	43
Tableau 5-1 : Aperçu du plan d'exécution Atis	44
Tableau 5-2 : Phases de construction	45
Tableau 5-3 : Étapes de fabrication	46
Tableau 5-4 : Exigences de levage du groupe WTG	49
Tableau 5-5 : Intégration WTG et mise en service	50
Tableau 5-6 : Étapes d'installation des ancrages	53
Tableau 5-7 : Étapes d'installation de la ligne d'amarrage	53
Tableau 5-8 : Schéma d'installation des câbles IAC	54
Tableau 5-9 : Étapes d'installation des câbles EC	54
Tableau 5-10 : Remorque et assistance pour l'attelage du FOSS	55
Tableau 5-11 : Description du transport du flotteur	56
Tableau 5-12 : Description de l'installation du flotteur	57
Tableau 5-13 : Étapes d'installation du flotteur	58

Abréviations et symboles

Abréviations	
AHTS/AHTV	Remorqueur (Anchor Handling Tug Supply Vessel)
BOP	Composants de soutien et systèmes auxiliaires (Balance of Plant)
BP	Bollard Pull
CBV	Navire pour l'enfouissement des câbles (Cable Burial Vessel)
CLV	Navire pour la pose de câbles (Cable Laying Vessel)
COD	Date de début des opérations commerciales (Commercial Operations Date)
CPS	Système de protection des câbles (Cable Protection System)
CT	Navire pour le transfert d'équipages (Crew Transfer Vessel)
DP	Positionnement dynamique (Dynamic Positioning)
EC	Câble électrique sous-marin (Export cable)
FID	Décision finale d'investissement (Final Investment Decision)
FOSS	Sous-stations électriques flottantes (Floating offshore sub-stations)
FOWT	Éoliennes flottantes (Floating offshore wind turbine)
FOU	Fondations flottantes ou flotteurs (Floating offshore UNIT)
GBP	Pression au sol (Ground Bearing Pressure)
HLV	Navire de levage lourd (Heavy Lift Vessel)
HTV	Navire de transport lourd (Heavy Transport Vessel)
Hs	Vitesse du vent
IAC	Câbles de raccordement entre les turbines (câbles inter-réseaux)
JUV	Navire de levage (Jack-up Vessel)
MW	Mégawatt
nm	Milles marins
O&M	Procédures opérationnelles et de maintenance (Operation and Maintenance)
OC	Câble terrestre (Onshore Cable)
OCV	Navire de construction offshore (Offshore Construction Vessel)
OSS	Sous-station terrestre (Onshore Substation)
OSV	Navire de ravitaillement offshore (Offshore Supply Vessel)
OWF	Parc éolien offshore (Offshore Wind Farm)
POC	Point de connexion (Point of Connection)
ROV	Véhicule télécommandé (Remotely Operating Vehicle)
SOV	Navire de service (Service Operation Vessel)
SPMT	Transporteur modulaire automoteur (Self-propelled Modular Transporter)
T&I	Transport et installation (Transport and Installation)
TJB	Baie de jonction (Transition Joint Bay)
TOC	Forage horizontal dirigé
TROV	Véhicule télécommandé pour le creusement de tranchées (Trenching Remote Operated Vehicle)
TSA	Accord de fourniture de turbines (Turbine Supply Agreement)
TSO	Gestionnaire du réseau de transport (Transmission System Operator)

Abréviations	
UXO	Munitions non explosées (Unexploded ordnance)
WDT	Temps d'indisponibilité météorologique (Weather Downtime)
Ws	Hauteur significative des vagues
WTG	Éolienne (Wind turbine generator)
WTIV	Navire d'installation d'éoliennes (Wind Turbine Installation Vessel)



Résumé

Le présent rapport décrit et analyse les choix et la méthodologie de construction pour les phases de réalisation et d'installation du parc éolien offshore appelé Atis.

L'objectif de ce document est de fournir un plan de construction pour l'installation, couvrant à la fois les unités flottantes et l'infrastructure électrique à toutes les étapes : conception, approvisionnement, fabrication/fourniture, intégration des éoliennes, logistique, transport et méthodes d'installation, jusqu'à la mise en service.

Titre du document	Date	Auteur	Contrôlé par	Statut	Page8 sur 61	
ATI-ING-VIA-RELCOS-R14-00	30/09/2024	Montana	Eni Plenitude	Final		

1 Introduction

1.1 Objectifs du travail

Le projet en question concerne la construction d'un nouveau parc éolien offshore flottant, appelé « Atis », d'une capacité totale de 864 MW, situé à environ 55 km de la côte toscane. Les travaux de raccordement au réseau électrique national au point indiqué par TERNA concernent les communes de Rosignano Marittimo et Castellina Marittima, dans la province de Livourne en Toscane.

La société promotrice est Atis Floating Wind S.r.l, dont le siège social est situé Via Ripamonti 85, Milan (MI).

À cette fin, le présent document constitue le **rapport sur les activités de construction, d'installation et de mise en service des travaux** du projet.

1.2 Présentation du projet

1.2.1 Emplacement du parc éolien

Le projet « Atis » concerne la réalisation d'un parc éolien offshore flottant dans les eaux de la mer Ligure et, plus précisément, dans une zone cartographiée par les coordonnées barycentriques P0 (43° 19' 20.0394" N, 9° 37' 38.6429" E) dans le système de référence WGS84-UTM zone 32N (Figure 1-1). La zone du site d'installation présente une profondeur de fond comprise entre -250 et -630 m au-dessus du niveau de la mer et se trouve à une distance minimale d'environ 17 km de l'île de Gorgona, à 22 km de l'île de Capraia et à 55 km des côtes de la Toscane continentale, plus précisément de la localité de Calafuria, dans les eaux face à l'archipel toscan, dans la province de Livourne.

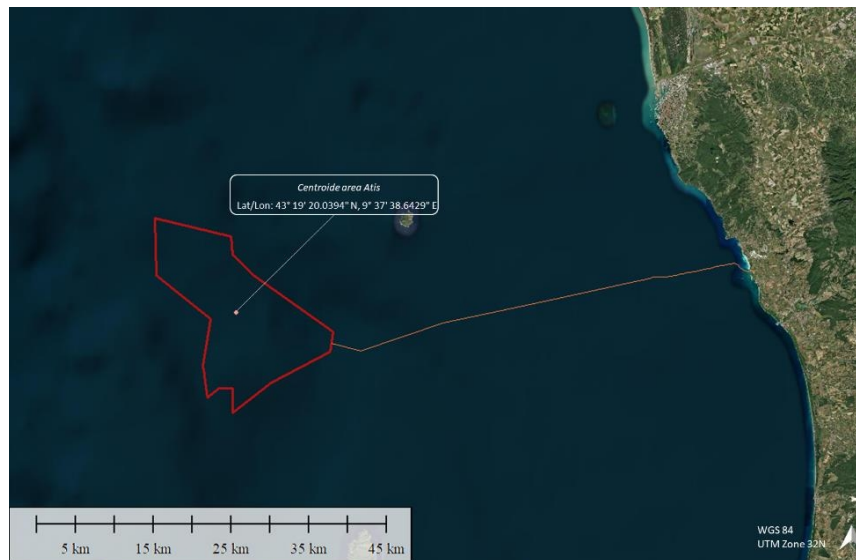


Figure 1-1 : Cartographie du parc éolien en projet.

Le projet, qui s'étend sur une superficie d'environ 264 km², prévoit l'installation de 48 éoliennes flottantes, chacune d'une puissance de 18 MW, pour une capacité totale de 864 MW. Les éoliennes seront reliées par une série de câbles sous-marins (IAC - Inter-array cable) à deux sous-stations électriques flottantes offshore (FOSS - Floating offshore sub-stations).

À partir des deux FOSS, quatre câbles (EC – Export cable), deux pour chaque sous-station, pour transporter l'électricité produite jusqu'à la zone d'atterrissage dans la commune de Rosignano Marittimo (à environ 1,6 km au nord du port de Vada) et la connexion à terre jusqu'à la sous-station électrique pour le raccordement au réseau national de transport d'électricité (RTN) selon les modalités prévues par TERN (Figure 1-2).

Le projet a été développé en tenant compte des technologies émergentes de l'éolien offshore flottant, en incluant les détails essentiels et pertinents pour évaluer les impacts potentiels et vérifier la compatibilité environnementale. Pendant la phase d'exécution, la conception sera optimisée et tiendra compte de la disponibilité commerciale des éléments au moment de la construction.

1.2.2 Description des principaux composants

Plus précisément, les principaux composants du parc éolien en projet se divisent en :

- **Parc éolien offshore (OWF - Offshore Wind Farm)**
Il s'agit du système qui permet aux éoliennes, situées en mer, d'exploiter l'énergie cinétique du vent, de la convertir en énergie électrique et de la transporter vers la terre ferme. Il comprend :
 - 48 éoliennes flottantes offshore (FOWT - Floating offshore wind turbine), y compris les fondations flottantes ;
 - 2 sous-stations électriques marines flottantes (FOSS - Floating offshore sub-stations) ;
 - Inter-array cables (IAC), câbles sous-marins qui relient les turbines entre elles au sein du parc éolien, transportant l'énergie produite vers les sous-stations offshore ;
 - Câbles d'exportation (EC), câbles sous-marins qui transportent l'énergie des sous-stations offshore vers la côte.
- **Atterrissage ou « landfall »**
Zone à l'interface onshore/offshore où les câbles offshore sont amenés à terre pour être connectés à la ligne électrique terrestre, qui comprend :
 - Baie de jonction (TJB - Transition Joint Bay), essentielle pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité des connexions électriques entre les turbines et, de manière générale, tous les composants en mer et les sous-stations, c'est-à-dire les composants terrestres.
- **Infrastructure onshore**
Partie de l'installation qui se développe sur la terre ferme, qui comprend les travaux de connexion au réseau électrique national :
 - Câble terrestre (OC – Onshore cable), qui relie l'installation de la baie de jonction au point de connexion (POC – Point of connection), via la sous-station terrestre ;
 - n° 1 sous-station électrique (OSS – Onshore sub-station), qui représente le point de connexion entre le parc éolien offshore et le système de transmission électrique terrestre.

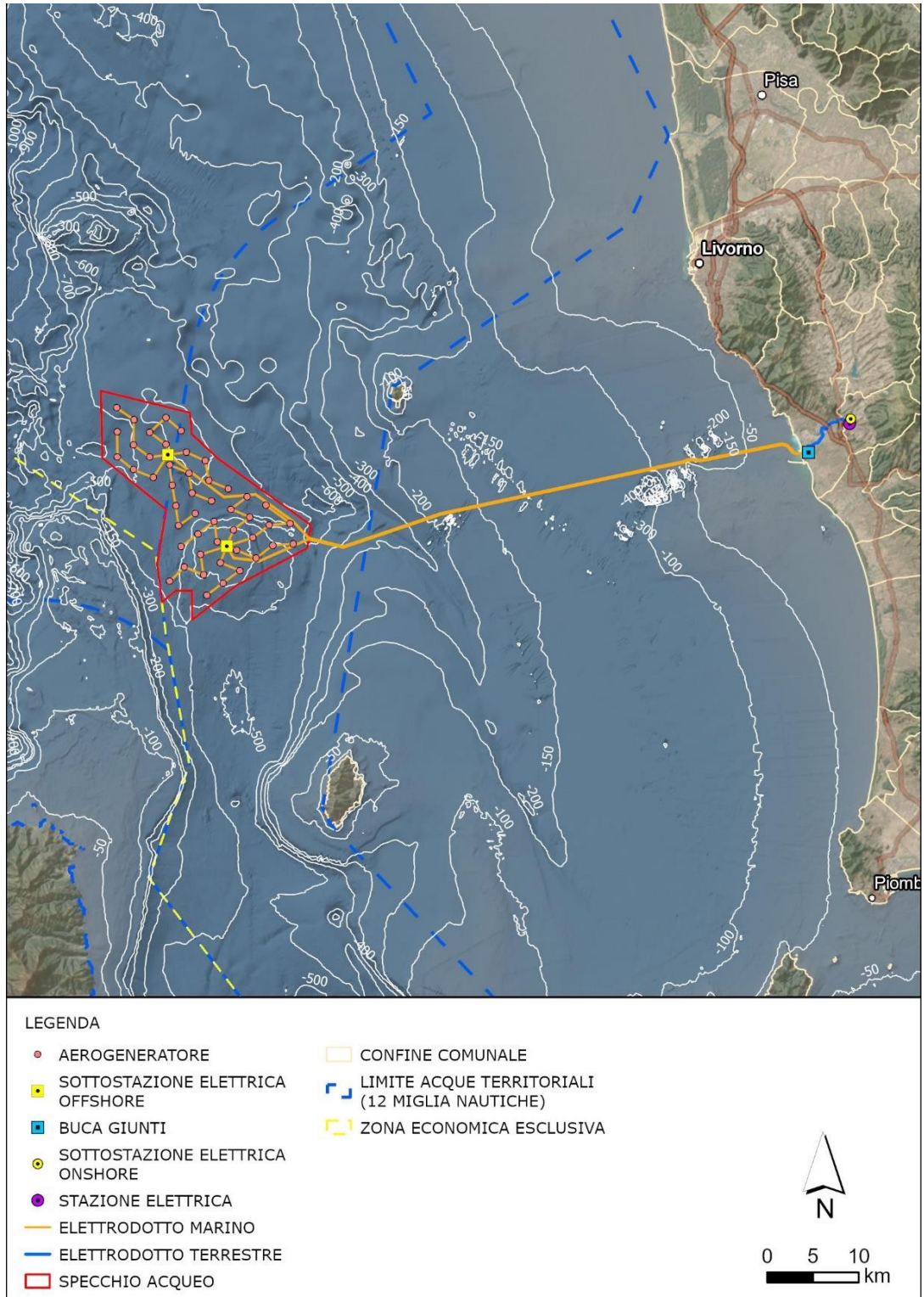


Figure 1-2 : Cadre géographique des travaux du projet « Atis ».

1.2.3 Caractéristiques de l'éolienne

Le projet prévoit l'installation d'éoliennes à trois pales à axe horizontal, d'une hauteur au moyeu de 155 m. Au sommet de la tour sera placée la nacelle, à laquelle est relié le rotor d'un diamètre de 250 m. La hauteur maximale totale du système tour-pales atteindra 280 m, en tenant compte de la pointe des pales.

Les principales caractéristiques dimensionnelles du type d'éoliennes actuellement envisagé pour le projet sont indiquées ci-dessous.

Tableau 1-1 : Caractéristiques dimensionnelles des éoliennes de 18 MW envisagées pour le projet

ÉOLIENNE DU PROJET		
Données de fonctionnement	Valeur	Unité de mesure
Puissance nominale	18	MW
Rotor		
Diamètre	250	m
Nombre de pales	3	-
Vitesse du rotor (nominale)	7,6	tr/min
Vitesse du rotor (minimale)	4,3	tr/min
Vitesse du rotor (maximale)	7,6	tr/min
Tour		
Type	Tubulaire	
Hauteur au moyeu	155	m
Pale		
Longueur	120	m
Caractéristiques globales		
Hauteur maximale	280	m
Poids (RNA : Rotor-Nacelle Assembly)	930	t

Au cours de la phase d'exécution, le choix de la marque et du modèle de l'éolienne sera effectué en tenant compte de l'évolution effective des machines disponibles au moment de la construction.

1.2.4 Types de fondations

Compte tenu de la profondeur des fonds marins sur le site, il a été décidé d'opter pour un système de fondations flottantes. Des structures flottantes semi-submersibles (floaters) en acier sont donc prévues. Le type de floater a été sélectionné à l'issue d'un processus d'évaluation basé sur un ensemble de critères technologiques spécifiques, combiné aux conditions particulières de la morphologie des fonds marins italiens. Ce concept repose sur :

- semi-submersibles en acier à 4 colonnes ou à 3 colonnes avec une tour centrale ;
- un système d'amarrage tendu ou semi-tendu.

Di seguito vengono riportate le rappresentazioni tridimensionali dei tipologici di fondazione de l'éolienne et de la sous-station électrique marine flottante.

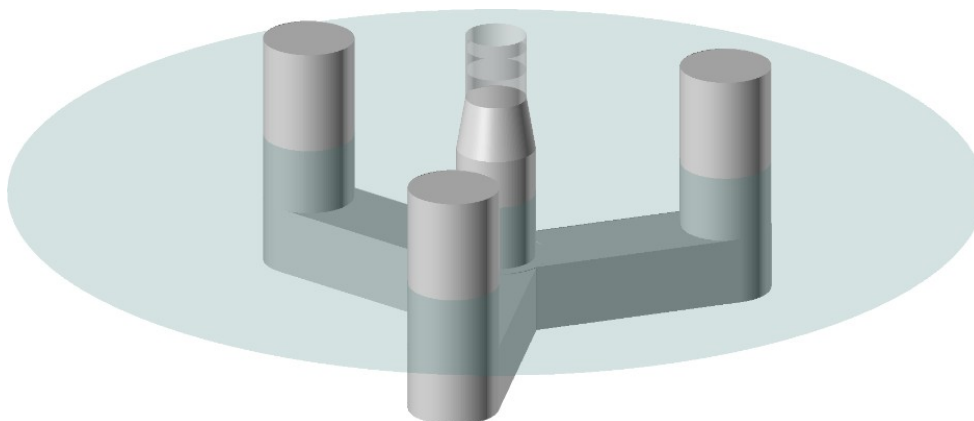


Figure 1-3 : Type semi-submersible à 3 colonnes, avec tour centrale

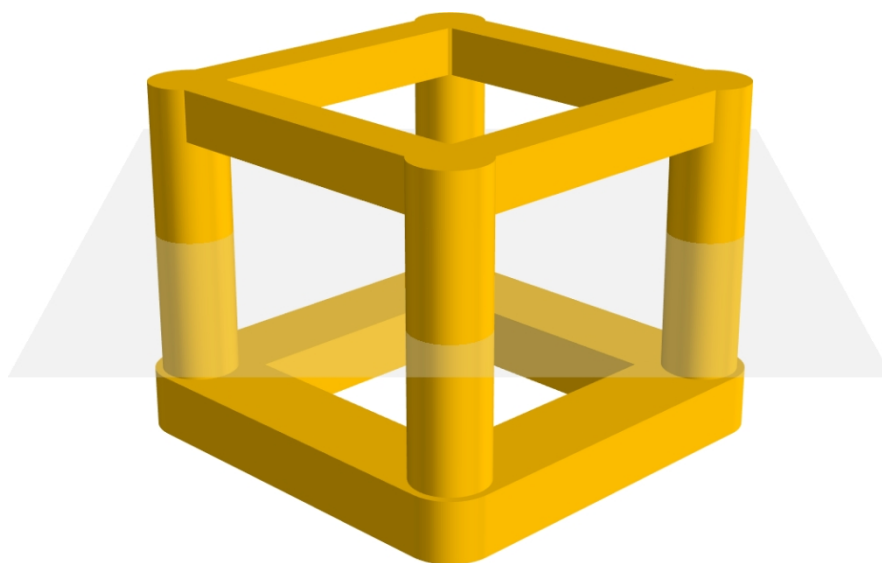


Figure 1-4 : Type de semi-submersible à 4 colonnes, avec base rectangulaire



Figure 1-5 : Représentation tridimensionnelle de l'éolienne et de la fondation flottante

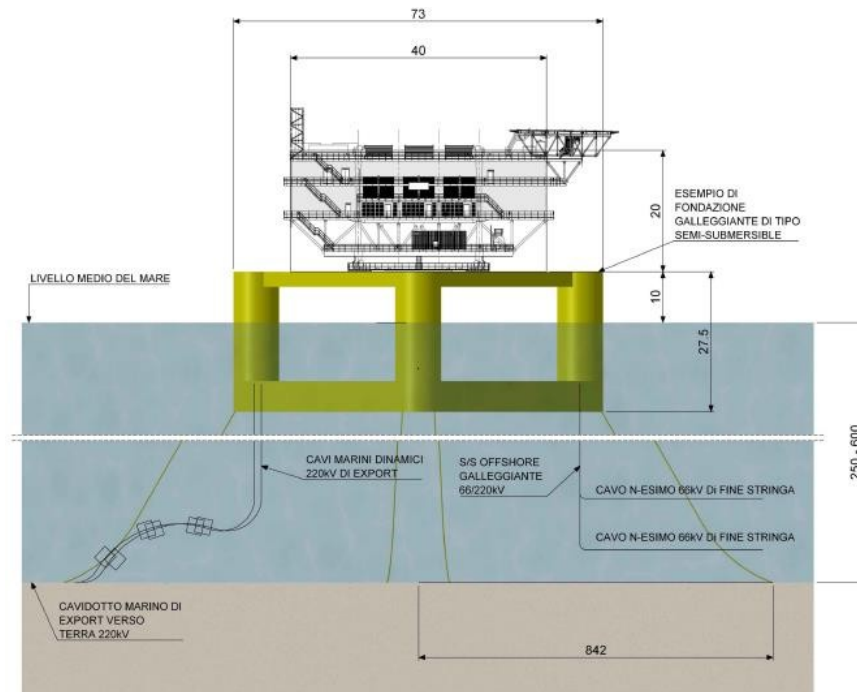


Figure 1-6 : Schéma d'ensemble de la sous-station marine (FOSS) et de la fondation flottante

2 Planification des marchés

2.1 Stratégie de lotissement et d'appel d'offres

La stratégie d'approvisionnement généralement utilisée pour des travaux d'une telle complexité prévoit une subdivision en lots de l'objet des travaux à attribuer à des entrepreneurs spécialisés. Le projet prévoit notamment les catégories suivantes :

- fourniture et installation d'éoliennes (WTG : tour, nacelle et pales) ;
- fourniture et installation de fondations flottantes ou floaters (FOU) pour les éoliennes ;
- fourniture et installation de sous-stations flottantes (FOSS) ;
- fourniture et installation de systèmes d'amarrage et d'ancrages ;
- fourniture et pose de câbles inter-réseaux (IAC) ;
- fourniture et pose de câbles d'exportation (EC) ;
- fourniture et construction d'une sous-station onshore ;
- fourniture et pose de câbles onshore.

En termes contractuels, il est toutefois possible de regrouper certains des lots de travaux définis ci-dessus, notamment en ce qui concerne le Balance of Plant (BOP), en les séparant de la fourniture des éoliennes (Turbine Supply Agreement – TSA), comme illustré à la figure 2-1. La stratégie contractuelle sera toutefois définie au cours des phases ultérieures du projet, en tenant compte du développement des technologies et de l'évolution du marché.

	WTG	FOU	FOSS - FOU	Mooring	FOSS - TOP	IAC	EXC
Design							
Supply							
Installation	TSA				BOP		
Commissioning							
O&M							

Figure 2-1 : Exemple de stratégie contractuelle pour les turbines et les ouvrages auxiliaires

Afin de mieux représenter la spécificité des activités de réalisation de l'ouvrage, voici une description générale des activités prévues dans les différents lots de travaux.

2.1.1 Fourniture et installation de WTG

Cette catégorie comprend les éléments suivants :

- conception et certification des composants des WTG ;
- fabrication des composants des éoliennes et des accessoires correspondants (tour, nacelle et pales) ;
- transport des composants depuis les sites de production jusqu'au port d'assemblage ;
- fourniture de personnel pour les activités de pré-montage et de montage des WTG ;
- préparation des composants des éoliennes, y compris le pré-assemblage, au port ;
- assemblage des éoliennes sur fondation flottante ;
- raccordement et mise en service du parc éolien.

Ces activités hautement spécialisées sont confiées à des sociétés productrices d'éoliennes.

Il convient de noter que l'aménagement du port d'installation des éoliennes et/ou des équipements de levage lourds associés (JUV, grues terrestres, SPMT, etc.) pourrait être géré séparément, notamment s'il existe des synergies avec l'activité de fourniture de fondations flottantes.

2.1.2 Fourniture et installation des structures flottantes pour les éoliennes

Cette catégorie comprend les objectifs suivants :

- conception et certification des composants des fondations flottantes ;
- fourniture et transport des sous-composants des structures flottantes ;
- production/assemblage des structures flottantes ;
- chargement, déchargement et mise à l'eau des structures flottantes ;
- transport des fondations flottantes entre les sites de production et le port d'installation des éoliennes (lorsque l'installation des éoliennes a lieu sur un site différent de celui de l'assemblage du flotteur) ;
- démarrage pour la mise à flot en mer (Float-off) ;
- transport et mise en place en mer du système éolien-flottant.

Ces activités sont spécifiques au type de fondation sélectionné pour le projet et nécessitent la participation des sociétés propriétaires des concepts de construction (licenciés).

2.1.3 Fourniture et installation d'amarres et d'ancres

Cette catégorie comprend :

- la conception et la production des équipements d'amarrage et d'ancrage pour les structures flottantes ou les flotteurs (et, le cas échéant, la sous-station offshore) ;
- le transport des équipements vers le port ;
- la mobilisation des navires et des équipements nécessaires à l'installation ;
- installation d'ancrages et de systèmes d'amarrage dans les zones du projet.

Ces activités nécessitent l'intervention de sociétés ayant une expérience confirmée dans les applications offshore et sont étroitement liées au type de fondation choisi pour le projet et aux caractéristiques du site d'installation.

2.1.4 Fourniture et installation d'une sous-station offshore

Cette catégorie comprend :

- la conception et la certification des composants FOSS (flotteurs et topside) ;
- la fourniture et le transport de la structure flottante et des sous-composants du topside ;
- l'assemblage des composants FOSS ;
- chargement et mise à l'eau des structures flottantes (floater) et de la structure en surface (topside) vers le site du projet ;
- raccordement de la sous-station dans la zone du projet et connexion d'amarrage ;
- travaux d'achèvement et de mise en service des FOSS.

Ces activités nécessitent l'intervention de sociétés ayant une expérience confirmée dans la construction de plates-formes offshore.

2.1.5 Fourniture et pose des câbles inter-réseaux

Cette activité comprend :

- conception et certification du câble ;
- production et essais du câble ;
- fourniture du câble au quai, prêt à être chargé sur le navire d'installation (load-out) ;
- mobilisation des navires et des équipements pour la pose des câbles IAC.
- pose du câble et raccordement au système éolien flottant

Ces activités nécessitent l'intervention de sociétés expérimentées dans la construction et la pose de câbles sous-marins pour le transport d'électricité. Lorsque cela est jugé avantageux d'un point de vue économique et/ou opérationnel, la fourniture et la pose des câbles inter-réseaux peuvent être confiées à différents sous-traitants.

2.1.6 Fourniture et pose de câbles d'exportation (EC) :

Cette activité comprend :

- la conception du câble ;
- production et essai du câble ;
- fourniture du câble au quai, prêt à être chargé sur le navire d'installation ;
- mobilisation des navires et des équipements pour la pose des câbles d'exportation ;
- pose du câble et raccordement aux sous-stations flottantes.

Ces activités nécessitent la participation de sociétés expérimentées dans la construction et la pose de câbles sous-marins pour le transport d'électricité.

Comme pour les câbles inter-réseaux, lorsque cela est jugé avantageux d'un point de vue économique et/ou opérationnel, la fourniture et la pose des câbles inter-réseaux pourraient être confiées à différents entrepreneurs.

2.1.7 Fourniture et construction de la sous-station terrestre

Cette activité comprend la fourniture de :

- la conception de la sous-station terrestre ;
- fourniture des équipements et des composants nécessaires ;
- la construction et le montage sur site de la sous-station terrestre, y compris les travaux de génie civil ;
- mise en service.

Ces activités nécessitent l'intervention de sociétés expérimentées dans la construction d'installations haute tension terrestres.

2.1.8 Alimentation et pose du câble terrestre

Cette activité comprend la fourniture de :

- la conception et la certification des câbles de raccordement terrestres, y compris l'atterrage ;
- la production et les essais des câbles de raccordement terrestres ;
- la pose des câbles, y compris les travaux d'excavation et de génie civil ;
- raccordement à la sous-station terrestre et mise en service.

Ces activités nécessitent la participation de sociétés expérimentées dans la construction et la pose de câbles électriques terrestres à haute tension.

2.2 Activités connexes

La planification des marchés présentée dans cette section met en évidence les particularités des différents lots de travaux qui nécessiteront nécessairement le recours à différentes entreprises spécialisées.

La stratégie d'approvisionnement optimale sera définie au cours des prochaines phases du projet, après une sélection rigoureuse et un suivi attentif de l'évolution du marché. Une attention particulière sera également accordée à l'emploi de main-d'œuvre et de compétences locales.

Comme décrit ci-dessous, la réalisation des travaux nécessite des sites de construction proches de l'emplacement du chantier, ce qui met en évidence la possibilité de multiples synergies avec l'industrie locale.

3 Considérations générales

3.1 Hypothèses générales

Le présent plan d'exécution des travaux a été établi sur la base des hypothèses actuelles du projet. Le tableau suivant présente les principales caractéristiques de la fondation flottante prévue.

Tableau 3-1 : Principales caractéristiques de la fondation flottante

Paramètre	Unité	Valeur
Solution d'amarrage	[-]	Système d'amarrage tendu
Description de l'amarrage	[-]	Ancrage sur pieux enfoncés/suction/pieux forés
Encombrement maximal :		
Hauteur	[m]	35
Longueur	[m]	84,3
Largeur	[m]	95
Masse (sans ballast, sans amarrage)	[t]	4 548
Tirant d'eau (sans WTG)	[m]	2,1
Tirant d'eau (avec WTG)	[m]	3,4
Tirant d'eau (en service)	[m]	20
Tours extérieures :		
Hauteur	[m]	35
Diamètre	[m]	15
Tour centrale :		
Hauteur	[m]	30
Diamètre	[m]	15-10
Ponton :		
Largeur	[m]	14
Hauteur	[m]	10

3.2 Caractéristiques des turbines

Les fondations flottantes sont conçues pour une turbine de 18 MW et une hauteur de moyeu de 155 m au-dessus du niveau de la mer.

Les dimensions des composants des éoliennes sont résumées au paragraphe 1.2.3

3.3 Caractéristiques de la sous-station offshore et des câbles

Les principales caractéristiques des câbles, utilisées comme données d'entrée pour l'élaboration du projet exécutif, sont résumées dans le tableau 3-2. Les caractéristiques de la sous-station offshore sont quant à elles résumées dans le tableau 3-3.

Tableau 3-2 : Principales caractéristiques des câbles inter-réseaux et des câbles d'exportation

Câbles	Caractéristiques
IAC	Longueur totale estimée du câble : 176 km Pas d'enfouissement en raison du site en eaux profondes Câble dynamique 300 / 500 / 800 / 1000 mm ² Cu 66 kV
EC	4 câbles, raccordés au point d'atterrage Longueur totale estimée du câble : environ 283 km Méthode d'enfouissement à définir 1200 mm ² Cu 220 kV câble d'exportation

Tableau 3-3 : Caractéristiques principales des sous-stations flottantes (FOSS)

FOSS	Caractéristiques
Topside	2 x unités AC, avec une tension de 66/220 kV
Flotteur	Fondations flottantes Longueur x largeur x hauteur totales = 73 x 73 x 27,50 m

3.4 Méthode de réalisation des travaux

La stratégie de réalisation adoptée pour l'exécution du projet tient compte des caractéristiques techniques de l'ouvrage, des solutions technologiques adoptées et des zones dans lesquelles le projet sera réalisé, en privilégiant les aspects suivants :

- préfabrication et modularisation élevées des composants ;
- transport et manutention des composants entre les sites de préfabrication et d'assemblage ;
- assemblage des principaux composants à proximité du site d'installation ;
- préparation des zones de stockage et d'assemblage.

En particulier, il convient de souligner que la grande modularité des fondations flottantes (floaters) permet une stratégie de réalisation de l'ouvrage dans laquelle les différents modules peuvent être fabriqués sur différents sites, puis transportés vers le chantier d'assemblage final, ce qui permet de concentrer les activités d'assemblage des floaters et d'installation des turbines sur les chantiers finaux, plus proches du site du parc éolien.

En fonction des caractéristiques techniques des chantiers et des ports identifiés pour les différentes phases de construction (réalisation des éléments modulaires, assemblage de la tour et de la turbine), différentes stratégies logistiques et de construction peuvent être envisagées.

À titre d'exemple, le site d'assemblage du flotteur et d'installation des turbines pourrait ne pas être le même, et il n'est pas exclu d'avoir plusieurs sites parallèles dédiés à l'assemblage des flotteurs. Dans tous les cas, les ports sélectionnés pour l'assemblage de la turbine sur le flotteur et le lancement ultérieur pour le transport et l'installation du parc ne devront pas être trop éloignés de ce dernier afin de minimiser les temps de transport, de réduire les coûts et la complexité logistique et de tirer le meilleur parti des fenêtres météorologiques appropriées pour cette dernière phase de construction.

3.5 Logistique

3.5.1 Fabrication des fondations flottantes

Le plan d'exécution du projet tiendra compte de la logistique associée au processus de fabrication. En général, il existe trois méthodes différentes pour la fabrication de flotteurs semi-submersibles en acier.

Le tableau 3-4 résume les méthodes généralement utilisées ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs.

Tableau 3-4 : Aperçu des méthodes de fabrication des flotteurs

Méthode de fabrication	Avantages	Inconvénients
I. Bassin de carénage (cale sèche)	<ul style="list-style-type: none"> Il n'est pas nécessaire d'utiliser des transporteurs modulaires automoteurs (SPMT) ou des systèmes de dérapage pour le chargement. Il n'est pas nécessaire d'utiliser de grands navires semi-submersibles pour soutenir la structure (en cas de remorquage en mer). Permet la production de sous-ensembles dans différentes structures. 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilité réduite des bassins de radoub existants à proximité de la zone du projet avec des capacités adaptées aux dimensions des flotteurs prévus par le projet. Si le bassin de carénage n'était pas divisé par des cloisons, toutes les fondations seraient mises à flot simultanément. Les dimensions du bassin de carénage pourraient entraver le processus d'assemblage.
II. Côté quai (Quay side)	<ul style="list-style-type: none"> Permet la production d'éléments individuels dans différentes structures. Il n'est pas nécessaire d'investir dans de nouvelles installations si une combinaison de chantiers existants suffit pour établir une production en série pour le parc éolien. 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite l'utilisation de transporteurs modulaires automoteurs (SPMT) ou d'un système de dérapage pour le chargement. Nécessite l'utilisation de grands navires semi-submersibles pour le float-off. Nécessite de grandes surfaces extérieures et des quais à forte capacité de charge.
III. Cale de halage (Slipway)	<ul style="list-style-type: none"> Il n'est pas nécessaire d'utiliser de grandes grues ou des SPMT pour le chargement. Il n'est pas nécessaire d'utiliser de grands navires semi-submersibles pour soutenir la structure (en cas de remorquage en mer). Permet la production de sous-ensembles dans différentes structures. 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de structures existantes. Investissements élevés dans les infrastructures.

Fabrication dans le bassin de carénage

Cette méthode a été largement utilisée pour la fabrication de nombreux projets de démonstration de l'application éolienne flottante.

Les bassins de radoub appartiennent généralement aux chantiers navals et sont utilisés pour la construction de navires. Selon une méthodologie similaire, la fondation flottante est construite à l'intérieur du bassin, qui est ensuite inondé pour le lancement et le remorquage de la structure en mer.



Figure 3-1 : Exemple de construction flottante à l'intérieur d'un bassin de radoub. Source : upstreamingonline.com

Le transport d'unités entièrement assemblées depuis des sites éloignés de l'Italie pose des difficultés supplémentaires, car cela nécessite la mobilisation de grands navires de transport semi-submersibles, dont la disponibilité est limitée et qui ne peuvent transporter qu'un nombre restreint d'unités.

Compte tenu de la taille de la fondation flottante du projet et de la disponibilité des bassins de radoub en Italie et en Europe, cette solution est difficilement applicable au projet.

Fabrication sur une zone ouverte à proximité d'un quai

Lorsqu'aucun bassin de carénage approprié n'est disponible à proximité du site, les fondations flottantes peuvent être construites/assemblées à quai, puis transférées à l'aide de SPMT/systèmes de glissement sur une barge/un navire/une plate-forme semi-submersible, avant d'être mises à flot.

Dans ce cas, en fonction de l'espace et des structures disponibles à proximité du quai, les composants du système de fondation flottante (par exemple, les colonnes principales et les pontons) peuvent être fabriqués sur place ou à différents endroits et assemblés sur place. Compte tenu de la taille considérable des structures, l'accès par voie maritime sera nécessaire pour le transport des composants.

Les chantiers d'assemblage doivent donc disposer de vastes zones extérieures pour la réception et le stockage des composants, ainsi que de zones pour le montage en parallèle des fondations flottantes. Ces zones doivent avoir un accès direct au quai, où les composants peuvent être chargés/déchargés à l'aide de grues lourdes ou de véhicules SPMT.

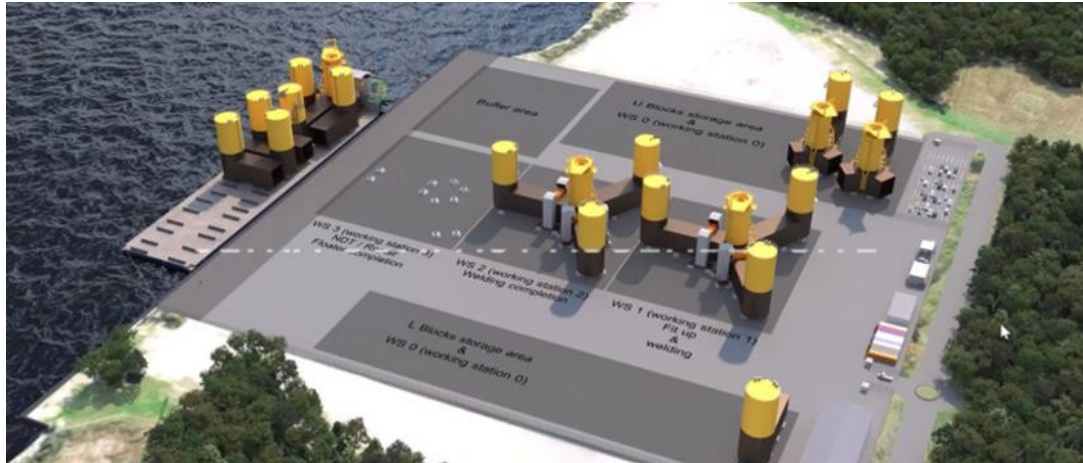


Figure 3-2 : Simulation d'un chantier d'assemblage. Source : Saipem

Fabrication sur une rampe spécialement construite avec accès à l'eau

Cette méthode consiste en une rampe spécialement conçue pour faire glisser les fondations flottantes dans la mer directement depuis le quai.

La construction de telles structures entraînerait plusieurs contraintes :

- travaux de génie civil dans une zone définie. Cela pourrait être réalisé sur des zones existantes (quais privés ou publics) ou en envisageant la construction de nouveaux quais ;
- dimensions de la rampe en termes de largeur, de tirant d'eau et de pente qui conviendraient aux besoins de ce projet.

Il convient de noter qu'à ce jour, il n'existe aucun port en Italie disposant de telles infrastructures.

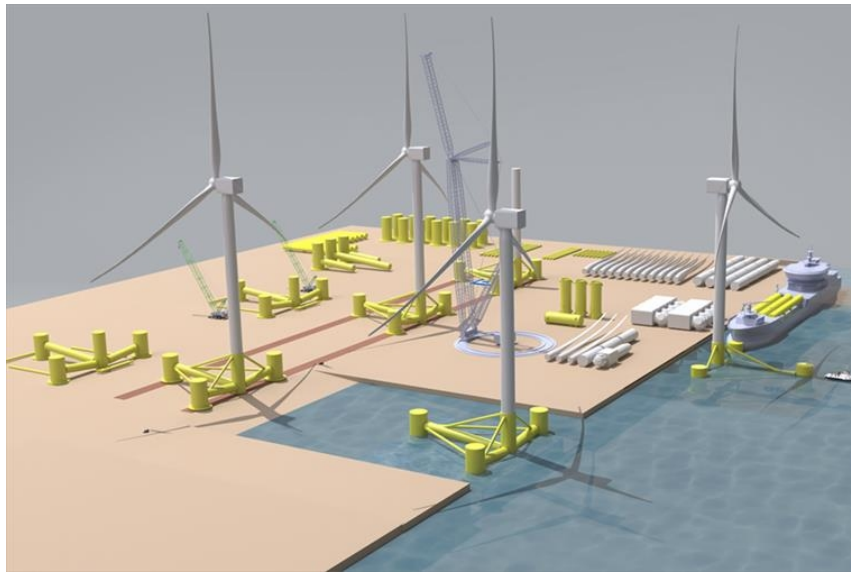


Figure 3-3 : Concept de Stiesdal pour la construction de parcs éoliens flottants sur une rampe de mise à l'eau

3.5.2 Assemblage de l'éolienne et fondation flottante

L'assemblage de l'éolienne et son intégration au système de fondation flottante devront avoir lieu dans une zone portuaire ou dans une zone marine protégée des agents atmosphériques, permettant les opérations de montage et de remorquage de l'éolienne flottante jusqu'au site offshore. Il est important de noter que le remorquage dans l'eau de la fondation flottante comprenant l'éolienne est également possible sur de longues distances (plus de 500 nm) sans compromettre la durée de vie des composants de l'éolienne.

Les composants de l'éolienne (nacelle, tour et rotor) sont transportés vers le site d'assemblage dans le cadre du lot de travaux TSA, puis stockés dans une zone dédiée. Dans le cadre des activités de pré-assemblage, les sections de la tour peuvent être placées à l'horizontale et boulonnées entre elles. Les composants de l'éolienne seront assemblés et reliés directement à la fondation flottante, préalablement assemblée.

La méthode de levage et les équipements nécessaires seront sélectionnés en fonction du poids de la nacelle et de la hauteur du moyeu requise. La portée de levage dépend des caractéristiques du quai et de la géométrie de la fondation flottante. Les exigences en matière de levage sont définies plus en détail au paragraphe 5.2.2.

Les méthodes d'assemblage des éoliennes généralement envisagées sont les suivantes :

- assemblage sur le quai à l'aide d'une grue terrestre (grue sur chenilles ou à anneau) ;
- assemblage dans une zone marine à l'abri des agents atmosphériques avec le navire d'installation.

La définition du plan logistique devra tenir compte des aspects suivants :

- conditions du site d'installation (profondeur de l'eau, conditions météorologiques, zones disponibles, propriétés du sol, etc.) ;
- le pré-assemblage de la tour avant l'assemblage de l'éolienne réduira le nombre de levages et le temps d'utilisation du moyen de levage ;
- le prélèvement direct des composants de l'éolienne depuis le quai réduira les déplacements maritimes associés (barges d'approvisionnement, fixation en mer, etc.) ;
- l'amarrage de la fondation flottante devra limiter les mouvements relatifs entre la fondation flottante et l'installation d'installation ;
- pré-mise en service de la WTG : à terminer avant le départ.

3.5.3 Stockage humide

La campagne d'installation offshore des fondations flottantes, avec l'éolienne déjà intégrée, devra avoir lieu après les activités d'assemblage. Compte tenu des coûts journaliers élevés de l'équipe de montage de l'éolienne et des moyens utilisés pour la campagne d'installation offshore, il est préférable d'effectuer cette opération en réduisant au minimum la période d'attente.

Il sera donc nécessaire de prévoir, dans la zone de montage, une ou plusieurs zones de stockage en mer pour entreposer plusieurs unités d'éoliennes flottantes achevées (stockage humide) et prêtes à être transportées vers le site offshore d'installation finale.

L'équipement nécessaire à l'amarrage (cordes d'amarrage, treuils, défenses et échelle d'accès appropriée) doit être défini sur la base d'une analyse détaillée, en tenant compte des caractéristiques du quai d'amarrage, telles que la hauteur, les bollards ou les défenses existantes.

La stratégie de stockage humide doit être analysée en temps utile, car le manque de disponibilité a un impact important sur la planification.

3.6 Transport et installation

3.6.1 Aperçu

Les méthodes et les moyens utilisés pour le transport et l'installation en mer varient pour chacun des principaux composants de l'ouvrage (éoliennes, sous-stations flottantes, câbles et systèmes d'amarrage).

La planification des phases de construction tient compte pour chaque lot de travaux :

- la séquence des activités d'installation ;
- la durée de chaque activité ;
- ressources nécessaires et équipements (type de bateaux, grues, etc.) ;
- nombre de mobilisations requises pour chaque activité.

3.6.2 Moyens et bateaux

Les types de bateaux envisagés pour la stratégie de construction, adaptés à l'exécution, sont résumés ci-dessous.

Tableau 3-5 : Activités de transport






Navire	Utilisations potentielles et considérations	Image
Porte-ponts (DC)	<ul style="list-style-type: none"> • Transport des sous-composants des fondations flottantes du chantier de production vers le chantier principal de fabrication. • Transport des fondations flottantes assemblées depuis le chantier de fabrication principal jusqu'au centre de tri des éoliennes. Les navires doivent être semi-submersibles. Les dimensions des navires dépendent des dimensions de la fondation flottante. • Transport des composants des éoliennes depuis le fabricant jusqu'au centre de tri. 	
Péniche pour le transport de marchandises (CB, Cargo barge)	<ul style="list-style-type: none"> • Transport des sous-composants du flotteur depuis le chantier de fabrication jusqu'au chantier principal. • Transport des composants des éoliennes vers la zone d'assemblage, le cas échéant. 	
Remorqueurs d'assistance (AT, Assisting tugs)	<ul style="list-style-type: none"> • Manœuvre des navires de transport dans le port. • Assistance et manœuvre pendant le chargement et le déchargement des fondations flottantes. • Assistance et manœuvre pendant le transport des fondations flottantes et des sous-stations offshore vers le site du projet. 	
Remorqueurs offshore (OT, Offshore tugs)	<ul style="list-style-type: none"> • Remorquage des fondations flottantes et des sous-stations offshore vers le site. 	

Tableau 3-6 : Activités de construction

Navire	Utilisations potentielles et considérations	Image
Navire pour l'installation des ancrs (AHTV, Anchor Handling Tug Vessel)	<ul style="list-style-type: none"> • Installation d'ancres et de cordages d'amarrage. • Activités d'ancrage des fondations flottantes. • Les principales caractéristiques pour le choix du navire sont la traction à la bittère et la capacité de la grue. 	
Navire de construction offshore (OCV, Offshore Construction Vessel)	<ul style="list-style-type: none"> • Installation d'ancres nécessitant l'utilisation de grandes grues. • Les principales caractéristiques pour le choix du navire sont la capacité des grues, la capacité du pont pour les équipements auxiliaires et les capacités de positionnement dynamique. 	
Navire pour la pose de câbles IAC	<ul style="list-style-type: none"> • Installation de câbles inter-réseaux. • Les principales caractéristiques pour le choix du navire sont les capacités de positionnement dynamique et la capacité du chargeur de bobines de câbles. 	
Navire pour la pose de câbles EC	<ul style="list-style-type: none"> • Installation et enfouissement des câbles d'exportation. • Les principales caractéristiques pour le choix du navire sont les capacités de positionnement dynamique et la capacité du chargeur de bobines de câbles. 	
Navire pour l'installation d'éoliennes (WTIV, Wind Turbine Installation Vessel)	<ul style="list-style-type: none"> • Leur utilisation peut être envisagée lorsque les quais ne sont pas équipés de grues adaptées à l'installation des turbines, mais qu'il existe des zones peu profondes à proximité du quai où cette opération peut être effectuée. • Installation de l'éolienne sur une fondation flottante à faible tirant d'eau (jusqu'à 20 m). • Les principales caractéristiques à prendre en compte pour le choix du navire sont la capacité de la grue, la hauteur du crochet et la capacité de levage. 	
Navire de service (SOV, Service Operation Vessel)	<ul style="list-style-type: none"> • Transport du personnel et assistance pour les activités de tirage des câbles. • Transport du personnel et assistance pour les activités de mise en service. 	

Navire	Utilisations potentielles et considérations	Image
Navire pour le transfert de l'équipage (CTV, Crew Transfer Vessel)	<ul style="list-style-type: none"> • Transport du personnel et assistance pour les activités de tirage des câbles. • Transport du personnel et assistance pour les activités de mise en service. 	

3.6.3 Activités préalables à la construction

Vous trouverez ci-dessous une liste des activités offshore qui doivent être réalisées avant le début des travaux de construction.

Étude géophysique

Une cartographie détaillée de la surface du fond marin est nécessaire pour fournir :

- une bathymétrie précise ;
- des informations sur la morphologie et les caractéristiques naturelles de la surface du fond marin, telles que les grandes ondulations, les dunes de sable, les rochers, les affleurements géologiques, les algues et les récifs ;
- identification d'éléments non naturels, tels que des épaves, des débris, des engins de pêche, des vestiges archéologiques, etc. ;
- identification d'éléments pouvant présenter un intérêt potentiel pour la conservation, tels que des bancs de sable ou des récifs ;
- évaluation de la présence éventuelle d'engins non explosés sur le fond marin ou enfouis sur le site du projet.

Études géognostiques

L'étude géognostique a les objectifs suivants :

- fournir un aperçu des conditions du sous-sol sur le site ;
- déterminer les propriétés locales et globales du sol ;
- déterminer les profils du sol des lieux étudiés ;
- fournir des informations pour la conception des tracés des câbles ;
- fournir des informations pour le dimensionnement des amarrages et des ancrages des fondations flottantes ;
- identifier les dangers et les risques liés à l'installation.

Enlèvement des débris

Cette campagne doit éliminer les éléments qui présentent un risque pendant la campagne d'installation, pour l'installation de l'amarrage, la pose des câbles et les opérations d'enfouissement.

3.6.4 Installation des amarrages

Le système d'amarrage est constitué d'ancres et de cordages ou de chaînes. La conception des fondations flottantes prévoit deux types d'ancrages différents (pour une description détaillée, voir le rapport ATI-ING-VIA-RELDIM-R05-00), à choisir en fonction des conditions géotechniques finales :

- pieux enfoncés ;
- pieux « à succion ».
- pieux forés.

Le système d'amarrage sera le premier élément à être installé en mer. Il s'agira en effet d'une campagne distincte, réalisée avant les travaux de fixation de la fondation flottante.

Les délais d'approvisionnement des composants du système permettent de planifier la campagne d'installation à l'avance.

La campagne d'installation nécessite l'aide d'une infrastructure portuaire dotée de zones de stockage suffisantes pour alimenter la mise en place du système d'amarrage de plusieurs unités (jusqu'à 15 flotteurs). En général, 1,5 à 2 hectares sont nécessaires, selon l'emplacement final de l'amarrage.

Les contraintes d'installation typiques des différents modèles d'ancrage sont résumées ci-dessous :

- **Pieux « à succion »** (« Suction pile ») : des moyens adaptés sont nécessaires pour le transport et le levage des pieux et du marteau-pilon. L'aspiration est assurée par une pompe actionnée par un ROV.
- **Pieux battus** (« Driven pile ») : des moyens de transport et de levage adaptés aux dimensions et à la capacité des pieux et du marteau-pilon sont nécessaires. L'utilisation d'une structure de guidage temporaire peut également être requise.
- **Pieux forés** (« Drill and Grouted - D&G - pile ») : des moyens de transport et de levage adaptés aux dimensions et à la capacité des pieux, du système de forage et du ciment sont nécessaires. L'utilisation d'une structure servant de guide temporaire et de pieux de guidage externes enfoncés peut également être requise.

Une fois les ancres installés, les amarres peuvent être connectées et posées sur le fond marin jusqu'à l'accrochage de la fondation flottante.

Tableau 3-7 : opérations d'installation de l'amarrage

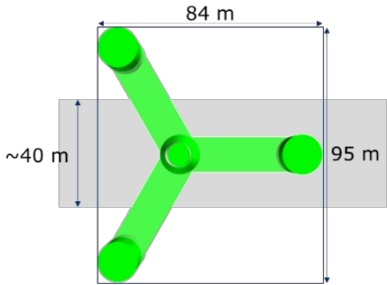
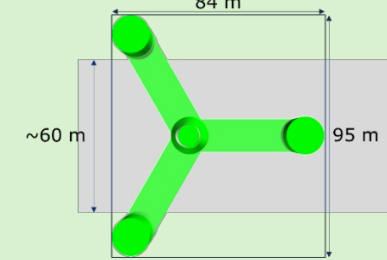


Opérations	Description
1. Installation des ancrs	<ul style="list-style-type: none"> • Un navire OCV procède à l'installation des ancrs à l'aide des outils d'enfoncement ou d'aspiration nécessaires.
2. Installation, tension et essai de charge du cordage d'ancrage	<ul style="list-style-type: none"> • La chaîne de fond sera reliée à l'ancre sur des poteaux avant l'installation de l'ancre elle-même et le câble en fibre sera également pré-relié à la chaîne de fond. • Pendant l'installation de l'ancre, le câble d'amarrage sera conservé sur une unité de manutention d'ancres (AHTS) et le câble d'amarrage entre l'ancre et le pont de l'AHTS sera maintenu détendu. Si nécessaire, le poids de la chaîne de fond peut être retenu par un câble du treuil de l'AHTS temporairement relié à la chaîne de fond. Cette connexion temporaire peut être relâchée par un ROV après la pose de la ligne d'amarrage. • Une fois l'ancre installée à la profondeur prévue, le remorqueur qui la manipule déroule le câble d'amarrage sur le fond marin, tout en surveillant son déroulement et sa caténaire à l'aide d'un ROV.

Une fois correctement positionnés et enfouis à la profondeur prévue, les ancrages ne sont généralement pas soumis à des charges d'essai élevées. Par conséquent, on suppose qu'aucun essai de charge n'est nécessaire à ce stade.

3.6.5 Mise à l'eau des fondations flottantes (Floater)

Plusieurs méthodes de mise à l'eau (et de transport) peuvent être envisagées, comme résumé ci-dessous.

Tableau 3-8 : Méthodologie de transport du flotteur

Méthodologie	Image
<p>Saillie autorisée</p> <p>Navires semi-submersibles standard et barges. Leur largeur maximale est d'environ 40 m, ce qui ne fournit pas un soutien suffisant au pont et à la stabilité de la fondation flottante. Cette solution est donc techniquement complexe et doit être étudiée en détail. Actuellement, plus de 25 bateaux sont disponibles sur le marché.</p>	
<p>Grands navires semi-submersibles : leur largeur maximale est d'environ 60 à 70 m. Cette solution offre un soutien plus large au flotteur. Cependant, le porte-à-faux reste important et cette méthode n'est considérée comme valable que pour les trajets courts et abrités. De plus, il n'y a actuellement que 5 navires disponibles sur le marché.</p>	
<p>Saillie non autorisée</p> <p>En considérant deux barges côte à côte, on pourrait obtenir une portée maximale d'environ 30 m + 30 m = 60 m. Cette solution serait très similaire à la méthode précédente.</p>	
<p>Extension du pont : jusqu'à 4-5 m de berges de chaque côté</p> <p>Péniches modulaires innovantes Cette solution envisage un système modulaire capable de supporter l'ensemble de la base flottante. Le ballastage et le déchargement du système s'effectuent à l'aide de ballons à air comprimé, gonflés par des bateaux d'assistance.</p>	

3.6.6 Transport du flotteur

Dans le paragraphe précédent, les navires semi-submersibles, les barges ou les plates-formes ont été pris en considération pour le float-off. Cependant, ces unités ne sont pas considérées comme adaptées aux routes non protégées et longues distances, en raison de l'encombrement de la charge (grand porte-à-faux), du battement des vagues et de l'instabilité.

Pour cette raison, le transport des fondations flottantes doit être effectué une fois que la structure est dans l'eau et flotte, à l'aide de remorqueurs océaniques (ce qui est plus communément appelé « wet-towage »).

Pour le remorquage des fondations flottantes, il faut prévoir et installer un système d'accrochage permettant de relier les câbles de remorquage des bateaux auxiliaires et du remorqueur principal.

Un calcul préliminaire a été effectué sur la base d'une formule semi-empirique. En tenant compte des différentes conditions de flottabilité, on obtient les valeurs suivantes :

- flotteur en conditions de lestage (sans charge) :
 - tirant d'eau : 2,1 m
 - traction sur bollard (Bollard pull - BP) : la traction minimale estimée sur bollard pour les remorqueurs est de 120 t
- flotteur en conditions de fonctionnement :
 - tirant d'eau : 20 m
 - traction à la bouée (BP) : la traction minimale requise pour les remorqueurs est estimée à 300 t.

Il convient de noter que ces valeurs sont prudentes, car la forme hydrodynamique de la fondation flottante n'est pas prise en compte. On prévoit que le BP pourra être abaissé sur la base de calculs détaillés. Cela aura une influence plus importante lorsqu'on considère un tirant d'eau plus important, donc pour la condition de fonctionnement du flotteur.

3.6.7 Installation du flotteur

Une fois l'installation de la turbine sur le flotteur et la pré-mise en service terminées, l'ensemble peut être remorqué jusqu'au site et connecté au système d'amarrage préalablement installé.

Pour atteindre le tirant d'eau opérationnel, le flotteur doit être lesté. Cette opération doit être effectuée dans des eaux abritées, car elle nécessite généralement la présence de plongeurs. Une fois le tirant d'eau opérationnel (20 m) atteint, la structure peut être remorquée sur place pour être installée.

Les principales activités d'installation sont énumérées ci-dessous.

Tableau 3-9 : Étapes d'installation de la structure flottante

Étape	Description
Remorquage	Les remorqueurs déplacent le flotteur assemblé depuis la zone de stockage dans l'eau jusqu'au site du projet offshore.
Positionnement de la fondation flottante	La fondation de l'éolienne est mise en place à l'emplacement prévu, à l'aide de remorqueurs pour maintenir sa position.
Amarrage	Les amarres préformées sont récupérées par le remorqueur « Anchor Handling » et reliées à la chaîne d'amarrage de la fondation flottante. Le flotteur est repositionné pour le raccordement de l'amarre suivante.
Tension de l'amarre	La longueur de la chaîne du système d'amarrage est réglée à l'aide d'un équipement spécial afin d'atteindre la pré-tension prévue dans le projet.

Les activités d'installation des fondations flottantes impliquent la mobilisation de remorqueurs offshore, de remorqueurs d'assistance et de remorqueurs pour la manutention des ancrés.

3.6.8 Installation de la sous-station offshore

L'installation de la sous-station offshore se déroulera en deux phases :

- 1) installation des ancrages et pré-pose des amarres ;
- 2) remorquage et accrochage de la FOSS.

L'amarrage de la sous-station suivra les mêmes principes que ceux décrits au paragraphe 3.6.4.

Les opérations offshore devront être planifiées de manière adéquate en tenant compte de l'avancement des travaux, des conditions météorologiques et de la disponibilité des ressources navales. Le tableau suivant répertorie les activités qui se déroulent pendant les opérations d'accrochage.

Pour effectuer les opérations d'accrochage, les unités navales suivantes sont nécessaires :

- unités de remorquage : 2 à 3 remorqueurs hauturiers pour la fondation flottante FOSS, en fonction des besoins finaux en matière de remorquage ;
- unités d'arrimage : 2 remorqueurs hauturiers pour le positionnement des flotteurs et 1 navire AHTV pour les opérations de raccordement des amarres.

Tableau 3-10 : Description de l'opération d'arrimage du FOSS

Étapes de l'opération d'accrochage	Description
1. Remorquage vers le site	Les remorqueurs offshore quittent le chantier naval, s'arriment à l'unité et la remorquent du quai jusqu'au site d'installation. La présence de ports de refuge sur la route doit être planifiée et coordonnée avec les autorités compétentes. Une fois sur place, les navires effectuant les opérations d'accrochage prennent le contrôle de la fondation flottante.
2. Positionnement de la fondation flottante	Positionnement du flotteur dans sa position finale à l'aide de remorqueurs pour le maintien de la position.
3. Accrochage aux amarres	Un navire AHTV récupère les amarres préparées et les relie à la chaîne d'amarrage du flotteur sur le pont. Les remorqueurs repositionnent le flotteur pour effectuer le raccordement suivant des amarres.
4. Mise en tension des amarres	Un navire AHTV utilise un tendeur pour réduire la longueur de la chaîne du système d'amarrage afin d'atteindre la précontrainte requise.

3.6.9 Installation des câbles

Les principales activités liées à l'installation des câbles inter-réseaux sont présentées dans le tableau 3-11.

Tableau 3-11 : activités d'installation des câbles inter-réseaux

Phase	Description
1. Chargement	Le câble est chargé sur le navire de pose dans les locaux du fabricant.
2. Transport	Transport depuis l'usine de fabrication des câbles jusqu'au site du projet offshore.
3. Pull-in des câbles	Le personnel est transféré vers la fondation flottante. Le câble métallique est tiré vers le navire poseur de câbles, la tête du câble est tirée depuis le côté de la fondation flottante et déroulée sur le pont du navire d'installation, jusqu'à atteindre la pince d'accrochage. Les systèmes de protection des câbles (CPS), les ballasts et les modules de flottabilité sont installés.
4. Pose du câble	Pose du câble vers la fondation flottante suivante, en suivant le tracé du projet.
5. Tirage final	Les accessoires du câble sont installés, le câble est coupé à la bonne longueur et scellé. La tête de traction est installée et le câble est transféré vers la fondation flottante, où il est tiré et fixé à la pince d'accrochage.
6. Connexions finaux	Le raccordement électrique final et le test des câbles sont généralement effectués dans le cadre d'une campagne distincte avec un navire de construction offshore (OCV).

Les principales activités liées à l'installation des câbles d'exportation sont répertoriées dans le tableau 3-12.

Tableau 3-12 : activités d'installation des câbles d'exportation

Phase	Description
1. Chargement	Le câble est chargé sur le navire de pose dans les locaux du fabricant.
2. Déchargement des câbles d'exportation	Le navire de pose de câbles est positionné à l'extrémité du TOC, le câble est récupéré et connecté. Avec les opérations simultanées de pay-in/pay-out suivies de l'installation du système de protection des câbles, la tête du câble est tirée vers le joint de transition et fixée au sol.
3. Pose des câbles	Pose des câbles vers le site offshore. Il faut prêter attention à la variation de la profondeur de l'eau et aux interférences avec les infrastructures existantes.
4. Tirage final	Les accessoires du câble sont installés, le câble est coupé à la bonne longueur et scellé. La tête de traction est installée et le câble est transféré à destination, où il est tiré et fixé à la pince d'accrochage.
5. Protection des câbles	Afin d'éviter tout dommage au câble marin pouvant entraîner une interruption du service, il est nécessaire de prévoir une protection adéquate des câbles. La protection du câble peut être assurée par son enfouissement ou par un recouvrement avec des rochers naturels (rockdumping), de matelas en béton ou d'éléments tubulaires modulaires (par exemple, des coquilles en fonte).

3.6.10 Weather Downtime

Selon les données météo-océaniques, les conditions prévues en matière de vagues peuvent être représentées comme suit :

Tableau 3-13 : Données WDT

Hauteur significative des vagues (m)	Probabilité d'occurrence
0,0 – 0,5	32,77
0,5 – 1,0	31,31
1,0 – 1,5	17,51
1,5 – 2,0	8,80 %
2,0 – 2,5	4,49
2,5 – 3,0	2,34
3,0 – 3,5	1,27
3,5 – 4,0	0,74
4,0 – 4,5	0,40
4,5 – 5,0	0,19
5,0 – 5,5	0,10
5,5 – 6,0	0,05
6,0 – 6,5	0,02
6,5 – 8,0	0,01
somme	100,00

En considérant une hauteur de vague de 1,5 m comme valeur limite opérationnelle générale pour les installations offshore, le tableau indique une probabilité cumulative d'occurrence de 81,59 %. En d'autres termes, dans 18,41 % des cas, la hauteur des vagues serait supérieure à la limite et impliquerait donc un arrêt des travaux de construction. Toutefois, cette valeur ne tient pas compte de la durée de la fenêtre météorologique qui doit être prise en compte pour chaque opération offshore ni de la limitation simultanée de la vitesse du vent.

En étudiant les données météo-océaniques plus en détail, il est possible de simuler les temps d'arrêt (WDT, Weather Downtime) en tenant compte des limitations suivantes :

- Hs < 1,5 m
- Ws < 10 m/s
- Fenêtre météo : 6 heures

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WDT	37	33	31	26	17	13	13	11	17	24	36	38

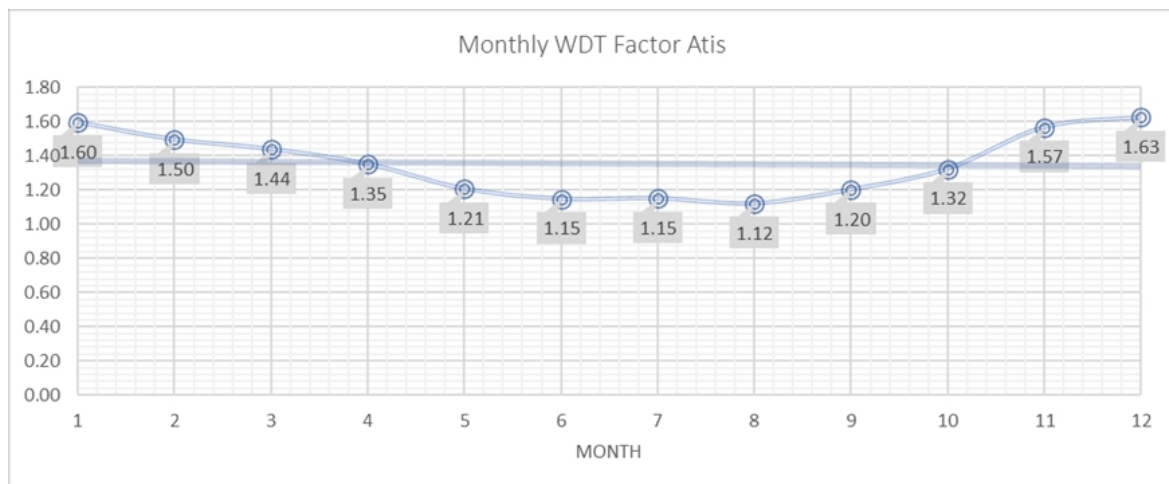


Figure 3-4 : Facteur WDT mensuel pour l'installation Atis, en tenant compte de 6h WW, 1,5m Hs, 10m/s Ws,

Sur la base de ce qui précède, on peut supposer les facteurs WDT suivants :

Tableau 3-14 : facteur WDT par rapport à l'activité

	Activités portuaires	Activités de transport	Activités de construction offshore
Facteur WDT	1,15	1,20	1,40 (moyenne)

Le WDT est le pourcentage de temps dans le mois pendant lequel aucune fenêtre de 6 heures ne correspond aux conditions mentionnées. Cela se traduit par un nombre de jours ouvrables par mois, ce qui nous permet d'obtenir un facteur WDT ($1 / (1 - \text{WDT})$) qui correspond à la durée totale prévue de l'activité.

Le facteur WDT est appliqué à la durée nette estimée pour chaque activité du planning.

3.7 Mise en service

La mise en service d'un parc éolien offshore comprend des activités complexes, séquentielles et interdépendantes. Pour garantir un processus efficace, une planification et une préparation cohérentes sont essentielles. Une planification détaillée est indispensable pour s'assurer que toutes les ressources et tous les équipements nécessaires à la mise en service sont disponibles. Cela comprend la création d'un calendrier pour chaque étape du processus de mise en service, qui guide le plan de construction ou d'installation. Le plan d'installation doit être aligné sur le plan de mise en service afin de faciliter le fonctionnement progressif du parc.

Le plan d'exécution vise à minimiser les opérations de mise en service de l'installation qui doivent être effectuées en mer. Les activités de mise en service en mer sont généralement effectuées par un navire de construction offshore (OCV) qui transfère le personnel et l'équipement vers et depuis les différents lieux de travail et sert de logement.

Les aspects clés du processus de mise en service sont énumérés et décrits ci-dessous :

Réception en usine des éléments des nacelles

Avant que les composants ne soient transportés vers le site d'installation, des tests et des inspections complets doivent être effectués en usine afin de garantir le respect des spécifications et le bon fonctionnement. Tous les composants seront testés individuellement avant d'être placés dans la nacelle. Une fois la nacelle assemblée, elle est testée pour vérifier que toutes les connexions fonctionnent. Cette étape est appelée « mise en service à froid » et a lieu sur le site de production de la turbine. Ces opérations doivent être effectuées par le fournisseur de l'équipement et sont sous sa responsabilité.

Transport et installation

Les composants du parc éolien, y compris les turbines, les fondations, les câbles et les plateformes de transformation, sont transportés vers le port d'assemblage où ils sont installés conformément aux spécifications.

Ce processus est généralement évalué plus en détail dans le cadre d'une étude de transport et d'installation (T&I), qui examine les délais, les fenêtres temporelles avec des conditions appropriées, l'équipement et les navires nécessaires.

Mise en service des turbines

Chaque turbine doit être mise en service individuellement. Cela implique de tester tous les systèmes, y compris les rotors, les transmissions, les générateurs et les systèmes de contrôle, afin de garantir leur bon fonctionnement.

La mise en service d'une éolienne commencera une fois la construction et l'installation de tous les composants de l'éolienne terminées. En général, la mise en service d'une seule éolienne dont la construction est terminée se fait parallèlement à la construction des autres éléments du parc éolien. À titre indicatif, pour une seule éolienne, les opérations de mise en service peuvent prendre un peu plus de deux jours avec un personnel expérimenté.

Câblage électrique

Le câblage électrique entre les différents composants du parc éolien doit être réalisé avec soin afin de garantir une transmission d'énergie fiable. Cela comprend le raccordement des turbines aux stations électriques marines et le raccordement de ces dernières au réseau de transport.

Connexion au réseau

Après leur installation, les turbines doivent être connectées au réseau de transport. Cela se fait au cours de la phase dite de « mise en service à chaud », qui comprend le contrôle de l'énergie, de la fréquence et de la stabilité de la tension, ainsi que la coordination avec le gestionnaire du réseau.

Tests d'intégration du système

Une fois les éoliennes connectées au réseau, des tests d'intégration complète du système sont effectués afin de garantir que tous les composants du parc éolien fonctionnent ensemble sans problème et que l'énergie produite est transmise de manière efficace.

Test de 500 heures

Enfin, un test de 500 heures est effectué pour s'assurer que l'éolienne fonctionne comme prévu. Pour être acceptée, l'éolienne doit fonctionner pendant 500 heures sans problème majeur.

Il est important de noter que ces tâches et étapes peuvent varier en fonction des besoins spécifiques du parc éolien offshore.

Il est nécessaire de mettre en place une organisation spécifique pour gérer les activités de mise en service afin de garantir une mise en service dans le bon ordre et une bonne collaboration entre les interfaces concernées, notamment le développeur du projet, les fabricants de turbines et de composants, les entreprises de construction et le gestionnaire du réseau.

4 Étude du port

4.1 Sélection des ports

La construction du parc éolien offshore nécessitera l'implication de plusieurs ports.

De nombreux composants de construction, tels que les nacelles, les pales et les tours des éoliennes, les éventuels modules constitutifs des fondations flottantes et les fondations flottantes elles-mêmes, généralement préfabriqués sur des sites spécifiques, ne peuvent être transportés que par voie maritime et doivent être assemblés à proximité des zones d'installation. Il sera donc nécessaire de disposer d'infrastructures portuaires où les composants des éoliennes flottantes pourront être réceptionnés et stockés avant d'être assemblés et transportés vers le site d'installation offshore.

Compte tenu de la complexité des travaux, le plan de construction prévu nécessitera la participation de plusieurs zones portuaires. L'analyse évalue donc, à titre préliminaire, une liste de ports potentiellement adaptés aux différentes phases de réalisation.

Il convient de préciser que la sélection finale des zones portuaires sera effectuée lors des phases détaillées du projet, en tenant également compte des éventuels plans d'adaptation des infrastructures existantes et de leur disponibilité.

4.1.1 Port de base pour les amarrages

L'installation des amarrages impose des exigences différentes pour le port et les navires d'installation ; par conséquent, on envisage l'utilisation d'un port de base différent, indépendant de la production de la fondation flottante et de l'assemblage des éoliennes.

Les ports suivants peuvent être considérés comme ports de base pour l'installation du système d'amarrage :

- Livourne ;
- La Spezia ;
- Piombino ;
- Civitavecchia ;
- Gênes ;
- Savone.

4.1.2 Assemblage des fondations flottantes pour les éoliennes (Floater)

Les zones portuaires doivent être en mesure de recevoir, d'organiser et de stocker les composants modulaires préfabriqués du flotteur et de les assembler avant leur transport vers le site d'assemblage de l'éolienne. Ces sites nécessitent beaucoup d'espace, un tirant d'eau important et de vastes zones de manœuvre pour le remorquage des flotteurs ou l'accès de navires adaptés au transport.

Les ports suivants peuvent être considérés comme des lieux de construction ou d'assemblage des flotteurs :

- Piombino ;
- Civitavecchia ;
- Arbatax.

4.1.3 Assemblage des éoliennes

Les zones portuaires doivent être en mesure de recevoir, d'organiser et de stocker les composants de l'éolienne (nacelle, tour et pales) et de les assembler avec le flotteur avant leur remorquage vers la zone d'installation offshore. Ces sites nécessitent beaucoup d'espace, un tirant d'eau important et de vastes zones de manœuvre, car les systèmes de turbines entièrement assemblés doivent être remorqués jusqu'au lieu d'installation offshore.

Les ports suivants peuvent être envisagés pour l'assemblage des éoliennes (WTG) :

- Piombino ;
- Civitavecchia ;
- Arbatax.

4.1.4 Sous-station offshore

Les zones portuaires doivent être en mesure de recevoir les matériaux de construction et d'assembler les plates-formes flottantes (coques et superstructures) avant leur transport vers le site.

Les ports suivants, équipés pour la construction de plates-formes marines, peuvent être pris en considération pour la construction de la sous-station offshore :

- base Saipem, Arbatax ;
- base Cosmi, Punta Cugno ;
- Rosetti Marino Spa - Chantier naval Piomboni, Ravenna.

La proximité géographique du site d'installation est toutefois une nécessité moins impérative pour les FOSS. Par conséquent, si cela est commercialement viable, il sera possible d'envisager le recours à d'autres chantiers portuaires.

4.2 Aperçu des ports

La carte ci-dessous donne un aperçu des ports potentiels analysés, y compris ceux sélectionnés pour le projet.



Figure 4-1 : Aperçu des ports

La liste des ports est fournie dans le tableau 4-1 avec leurs utilisations potentielles, après évaluation.

Tableau 4-1 : nomenclature des ports

Port	Distance du site (nm)	Tirant d'eau	Assemblage du flotteur	Zone de flottement	Assemblage WTG	Stockage humide	Remarques
1 Piombino	43	20 m	✓	✓	✓	✓	
2 Civitavecchia	115	18 m	✓	✓	✓	✓	
3 Arbatax	200	9 m	✓	✓	✓	✗	Le tirant d'eau du port ne permettrait pas d'effectuer des opérations de float-off. Espace de stockage limité pour équiper la zone d'assemblage des éoliennes
4 Livourne	27	9,7 m	✗	✗	✗	✓	Port le plus proche du site du projet. Il ne dispose pas d'aires de stockage disponibles, mais pourrait servir de base logistique.
5 Fos-sur-Mer	880	10 m	✓	✓	✗	✓	Port situé loin du site du projet. Le port a déjà une expérience dans la fabrication de flotteurs, le chargement et le flottage pour le projet PGL.
6 Navantia Cadix	1 400	14 m	✓	✓	✗	✗	Port situé loin du site du projet. Bassin de carénage existant adapté à la fabrication du flotteur.
7 La Spezia	48	11 m	✗	✗	✗	✓	La plupart des quais sont occupés par le trafic de conteneurs/RoRo ou par des industries. Le seul quai disponible dispose d'un espace limité. Il pourrait servir de base logistique.
8 Gênes	62	15 m					Les terminaux sont principalement utilisés pour le trafic de conteneurs, de rouliers, de céréales et le tourisme. Bien qu'il y ait plusieurs chantiers navals dans le port, aucun d'entre eux ne dispose d'espaces de stockage disponibles.
9 Savone	66	Max. 29 m					Le port dispose d'un bassin profond, mais il n'y a pas d'espaces extérieurs disponibles.

5 Plan de construction du projet

5.1 Plan général

La mise en œuvre du projet nécessite la participation de plusieurs sites de production, fournisseurs et infrastructures portuaires. Les ports pris en compte à ce stade sont indiqués sur la carte et dans le tableau ci-dessous et doivent être considérés comme des hypothèses préliminaires retenues pour représenter les phases de réalisation du projet.

Une analyse plus détaillée, qui impliquera les fournisseurs et tiendra compte des développements effectifs des infrastructures, sera effectuée à un stade plus avancé du projet.

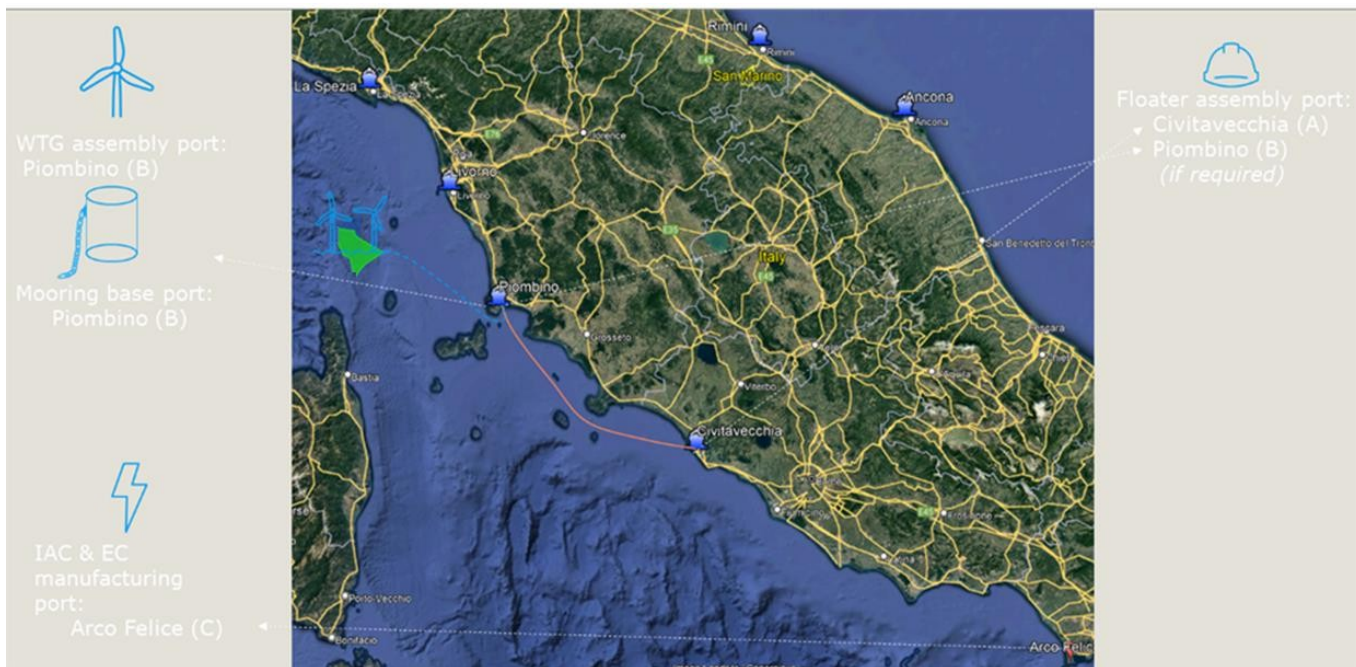


Figure 5-1 : Aperçu du plan d'exécution Atis

Tableau 5-1 : Aperçu du plan d'exécution Atis

Port	Activités
A	Montage du flotteur semi-submersible en acier au port de Civitavecchia
B	Montage du flotteur semi-submersible en acier au port de Piombino (à utiliser si nécessaire)
B	Montage des éoliennes dans le port de Piombino
B	Base d'amarrage du port de Piombino
C	Production de câbles IAC et port de base sur le chantier Prysmian d'Arco Felice
C	Production des câbles d'exportation port de base sur le chantier Prysmian d'Arco Felice
D	Production / assemblage FOSS chez Rosetti Marino / Saipem Arbatax

Vous trouverez ci-dessous un résumé des phases de construction. Des descriptions plus détaillées sont fournies dans les chapitres suivants.

Tableau 5-2 : Phases de construction

Étape	Description
1	Fabrication des sous-composants flottants. Cette tâche peut être répartie entre plusieurs fournisseurs et sites. La répartition exacte dépendra des caractéristiques de l'industrie locale, de la stratégie générale de production, des capacités des fournisseurs et de la disponibilité
2	Transport des sous-composants flottants du fournisseur au chantier d'assemblage
3	Installation de l'ancre depuis le port d'attache
4	Installation du cordage d'amarrage depuis le port d'attache
5	Montage du flotteur semi-submergible en acier dans les différents chantiers d'assemblage désignés
6	Chargement et déchargement des flotteurs
7	Remorquage des fondations flottantes individuelles vers la zone de stockage en mer
8	Stockage en mer des flotteurs en attendant la campagne d'intégration avec les WTG - l'emplacement et les modalités d'amarrage sont à définir
9	Remorquage des flotteurs individuels jusqu'au port d'assemblage des éoliennes, le flotteur est amarré au quai
10	Installation de l'éolienne sur le flotteur à l'aide d'une grue à anneau
11	Mise en service de la WTG au port d'assemblage de la WTG
12	Remorquage des flotteurs individuels (avec WTG) jusqu'au site offshore et accrochage au système d'amarrage préinstallé. Les flotteurs sont transportés sur le site dès que le WTG a été mis en service et qu'il existe une fenêtre météorologique adéquate.
13	Installation des ancres FOSS depuis le port d'amarrage de base
14	Installation des amarres FOSS depuis le port d'amarrage
15	Remorquage et amarrage du FOSS
16	Installation des câbles d'exportation offshore, y compris les sections en TOC
17	Installation de câbles inter-réseaux
18	Installation et mise en service des câbles WTG

5.2 Méthode de fabrication des fondations flottantes des éoliennes

Le principal avantage des fondations flottantes semi-submersibles en acier réside dans la possibilité de les produire en série et de les industrialiser, car elles peuvent être soudées entre elles tout en garantissant leur étanchéité.

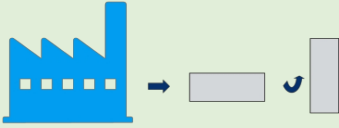
Certains chantiers peuvent avoir la capacité de produire tout ou partie des sous-composants, mais pas d'assembler l'ensemble du flotteur. D'autres, en revanche, peuvent être en mesure de fabriquer et d'assembler la structure complète. Dans tous les cas, compte tenu de la taille du projet et du nombre de flotteurs, le projet devra suivre une approche de fabrication modulaire.

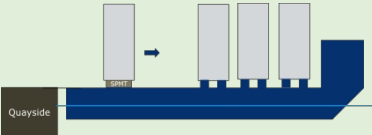
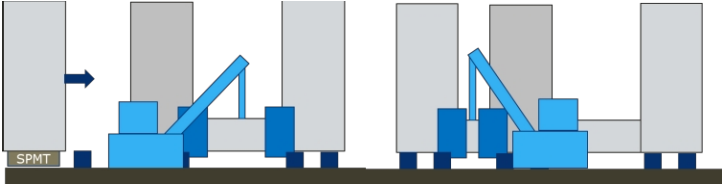
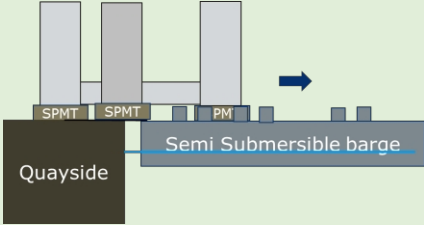
La fabrication des sous-composants ou des modules flottants serait répartie entre des fournisseurs spécialisés. Ces composants seront expédiés au chantier d'assemblage principal, correctement organisé avec des zones de réception/stockage pour les sous-composants et les postes d'assemblage. Le fournisseur devra déterminer la configuration optimale, avec pour objectif principal de minimiser la durée de l'assemblage, en garantissant un approvisionnement constant en modules et en optimisant ainsi le taux de production des fondations flottantes.

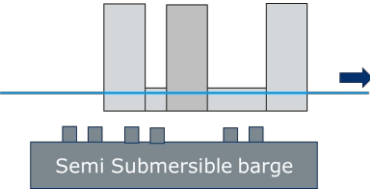
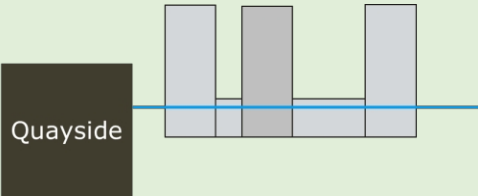
5.2.1 Phases de fabrication

Les étapes typiques de fabrication sont résumées dans le tableau suivant, selon une approche modulaire.

Tableau 5-3 : Étapes de fabrication

Étape	Description
1. Construction des modules	<p>Les modules seront fabriqués dans des chantiers séparés et expédiés au chantier d'assemblage. La fabrication des modules est industrialisée et automatisée autant que possible. Les modules sont constitués de tôles pliées ou en acier (coques et cloisons) avec des renforts et des poutres. Les soudures sont réalisées de manière plus efficace à l'aide de soudeuses automatiques. Les équipements flottants, les anodes et l'acier secondaire sont intégrés autant que possible lors de la production des modules. Le revêtement est appliqué sur toutes les structures exposées.</p> 

Phase	Description
2. Transport des modules	<p>Les modules seront transportés du chantier de fabrication au chantier d'assemblage. Différents types de navires de transport peuvent être utilisés à cette étape : barges de chargement, pontons et navires de transport de marchandises diverses. Le choix du moyen de transport dépendra de la taille de la cargaison, des capacités de chargement et de déchargement (grues, SPMT, etc.) des ports et de la distance entre ceux-ci.</p> <p>La disposition des pontons visera à optimiser les capacités de transport disponibles, mais il faudra également tenir compte de la méthode de fabrication et de la planification. L'espace disponible pour le stockage des modules sur le chantier d'assemblage principal doit également être pris en considération dans la détermination de la logistique globale.</p> 
3. Assemblage des fondations flottantes	<p>Des stations de montage dédiées sont mises en place sur le chantier d'assemblage. Elles offrent suffisamment d'espace non seulement pour le flotteur assemblé, mais aussi pour les grues et les équipements nécessaires pendant l'assemblage.</p> <p>Tous les modules sont soudés ensemble pour donner à la fondation flottante sa forme définitive. Les joints sont recouverts pour assurer une protection contre la corrosion. En principe, le flotteur est assemblé sur des supports adaptés à la charge avec des équipements SPMT.</p> 
4. Chargement (load-out)	<p>Une fois que le flotteur est entièrement assemblé et prêt à être chargé, les préparatifs associés commencent.</p> <p>La barge ou le navire semi-submersible est amarré au quai. Les réservoirs sont lestés selon les procédures techniques approuvées. Si des pompes supplémentaires sont nécessaires, elles sont mobilisées, installées et testées.</p> <p>Les SPMT sont positionnés sous le flotteur. En fonction des conditions du site, des caractéristiques de la barge et de la conception du quai, le chargement peut être limité par le niveau de la marée. Une planification minutieuse est donc nécessaire. Le lestage est effectué pendant le chargement afin de maintenir le pont de la barge et le quai au même niveau.</p> 

Phase	Description
5. Mise en place (float-over)	<p>Une fois que le flotteur a été correctement positionné sur la barge semi-submersible, les opérations de mise en place des fondations flottantes commencent.</p> <p>La barge semi-submersible est détachée et transportée vers la zone de flottaison. Les remorqueurs d'assistance sont mobilisés pour faciliter le positionnement de la barge et le déplacement du flotteur.</p> <p>Une fois que la barge semi-submersible est en place, elle est lestée jusqu'à ce que l'unité flotte. Les remorqueurs sont reliés au flotteur et le déplacent vers le quai, où il sera correctement amarré.</p> <p>Le ballast sera retiré de la barge semi-submersible et celle-ci sera préparée pour la prochaine opération de chargement.</p> 
6. Mise en service et achèvement des flotteurs	<p>Les travaux restants, tels que la mise en service et l'entretien de la fondation flottante, sont effectués sur le quai.</p> 

5.2.2 Montage de l'éolienne

Le programme de construction du projet prévoit l'intégration de la turbine dans une infrastructure portuaire à l'aide d'une grue à anneau. Cette opération est préférable à l'utilisation de moyens offshore (JUV / HLV) pour les raisons suivantes :

- la disponibilité limitée de navires d'installation spécialisés en raison de la demande croissante de projets éoliens offshore ;
- la présence d'un nombre élevé de fondations flottantes (48) qui ne peuvent être stockées en mer nécessite la subdivision de l'installation des turbines avec JUV en plusieurs campagnes, ce qui nécessite des opérations de mobilisation et de démobilitation du moyen et comporte des risques d'arrêt des travaux en cas de conditions météorologiques défavorables ;
- les risques opérationnels moindres par rapport aux opérations en mer, car les composants des éoliennes sont soulevés directement depuis le quai et placés sur la fondation flottante.

Parmi les exemples de projets éoliens flottants dans lesquels une grue terrestre a été utilisée pour l'intégration des WTG, on peut citer les parcs suivants :

- Windfloat Atlantic, turbines de 8,4 MW, utilisant des grues Liebherr LR 11350 avec PowerBoom (grues sur chenilles) ;
- Kincardine, turbines de 9,5 MW, utilisant des grues Liebherr LR 11350 avec PowerBoom (grues sur chenilles) ;
- Hywind Tampen, turbines de 8 MW, utilisant des grues Mammoet PTC 200-DS.

Lorsqu'on envisage le montage de la tour sur la fondation flottante, la nacelle est l'élément le plus lourd à installer en un seul levage à la hauteur maximale. Cet élément dicte donc les exigences pour l'évaluation du levage. Le tableau suivant présente les caractéristiques et les données d'entrée pour les éoliennes utilisées dans le projet à l'étude.

Tableau 5-4 : Exigences de levage du groupe WTG

Composant	Nacelle	Exigence de la grue	Remarques
Poids	930 t	~1250 t	À prendre en compte : poids de l'équipement, facteur dynamique et la marge de capacité de la grue
Hauteur finale au-dessus de l'eau	160 m	160 m	À prendre en compte : longueur de l'équipement, variation du tirant d'eau de la fondation flottante et distance de levage. L'installation des pales peut nécessiter des hauteurs de crochet plus élevées, mais avec une capacité de charge moindre.

La mobilisation de la grue à anneau doit être soigneusement planifiée car elle implique la manutention de pièces longues et lourdes, telles que les sections du bras ou les contrepoids. Dans ce cas, les pièces peuvent être transportées par route ou par bateau. Le montage et les essais de la grue à anneau prennent généralement au moins 4 semaines. Une étude détaillée du port doit déterminer si des modifications du port (travaux de génie civil) sont nécessaires avant la mobilisation de la grue.

Cette campagne d'installation devrait débuter lorsque le premier flotteur aura été transporté vers le port d'assemblage des éoliennes et se poursuivre jusqu'à la livraison de la dernière unité. Il faut donc s'attendre à des périodes d'attente entre les intégrations des éoliennes. La séquence des activités pour assembler une éolienne est représentée dans le tableau 5-5.

Tableau 5-5 : Intégration des éoliennes et mise en service

Phases d'intégration des éoliennes		Moyens
1.	Transport du flotteur vers le port d'assemblage des WTG. Coordination avec les autorités portuaires pour l'arrivée	1 remorquage offshore 2 remorqueurs d'assistance
2.	Amarrage du flotteur au quai	1 remorqueurs offshore 2 remorqueurs d'assistance 3 Treuils à terre
3.	Installation des points d'accès du personnel (passerelle) au flotteur	Grues à terre
4.	Levage de la section 1 de la tour et opérations de boulonnage	Grue onshore Grue auxiliaire arrière
5.	Levage de la section 2 de la tour et opérations de vissage, y compris le renversement	Grue à terre Grue auxiliaire arrière
6.	Levage de la section 3 de la tour et opérations de boulonnage, y compris le renversement	Grue à terre Grue auxiliaire arrière
7.	Levage de la section 4 de la tour et opérations de boulonnage, y compris le renversement	Grue terrestre Grue auxiliaire arrière
8.	Levage de la nacelle et opérations de serrage	Grue onshore
9.	Levage de la pelle 1 et opérations de serrage	Grue onshore
10.	Levage de la pelle 2 et opérations de serrage	Grue onshore
11.	Levage de la pelle 3 et opérations de serrage	Grue onshore
12.	Démarrage des flotteurs	1 Remorqueurs offshore 2 remorqueurs auxiliaires
13.	Remorquage des fondations + WTG jusqu'au quai de mise en service	1 remorquage offshore 2 remorqueurs d'assistance
14.	Amarrage de fondation + WTG au quai de mise en service	1 remorque offshore 2 remorques d'assistance
15.	Installation des points d'accès du personnel (passerelle) au flotteur	Grue onshore
16.	Pré-mise en service de l'éolienne à son amarrage temporaire	

Au cours du développement du projet, plusieurs aspects doivent être pris en compte, même s'ils ne sont pas strictement contraignants. Les paramètres qui influenceront la rapidité et la complexité de l'intégration de l'éolienne sont les suivants :

- Logistique onshore : le chantier doit disposer d'une zone de stockage à terre suffisante pour les tours, les nacelles, les pales et les accessoires. Des entrepôts et des bureaux sont également nécessaires. Le chantier doit disposer d'équipements adéquats pour le levage de charges lourdes (SPMT, grues, etc.) et pour la maintenance des composants de l'éolienne.
- Pré-assemblage : envisager la possibilité de soulever les sections de la tour et/ou de les pré-assembler avant la campagne d'intégration avec les fondations serait un moyen de réduire le nombre de levages et la durée d'installation des éoliennes, mais cette solution n'a pas été retenue à ce stade car elle impliquerait le renforcement du quai et des ouvrages civils associés.

- Installation des éoliennes : l'installation d'éoliennes sur une structure flottante doit tenir compte des mouvements de balancement. Il pourrait être nécessaire de développer des méthodes spécifiques et d'utiliser des moyens auxiliaires pour soulever et connecter l'éolienne à la fondation flottante.
- Pré-mise en service des éoliennes : tous les raccordements mécaniques et électriques pouvant être effectués en dehors des campagnes d'installation et de mise en service offshore des éoliennes doivent être réalisés à quai avant le départ.

5.2.3 Stockage humide

Le programme de construction du projet prévoit que les fondations flottantes intégrées aux éoliennes soient remorquées jusqu'au site offshore dès que la mise en service des turbines sera terminée et qu'une fenêtre météorologique appropriée pour le remorquage et l'arrimage des fondations flottantes aux systèmes d'amarrage sera disponible.

Par conséquent, le stockage humide comprend les opérations suivantes :

- stockage de la fondation flottante en attendant l'intégration des éoliennes ;
- stockage de la fondation flottante intégrée à la WTG en attendant une fenêtre météorologique appropriée pour le remorquage et l'amarrage.

Compte tenu du tirant d'eau limité du système flottant, on considère à ce stade que les unités seront amarrées au quai, en supposant que l'infrastructure portuaire dispose de suffisamment d'espace à cet effet. Cela évite d'avoir à amarrer les fondations flottantes dans des zones ouvertes, ce qui entraînerait des coûts et des risques opérationnels supplémentaires liés à l'installation d'équipements d'amarrage temporaires (ancres, cordages, etc.).

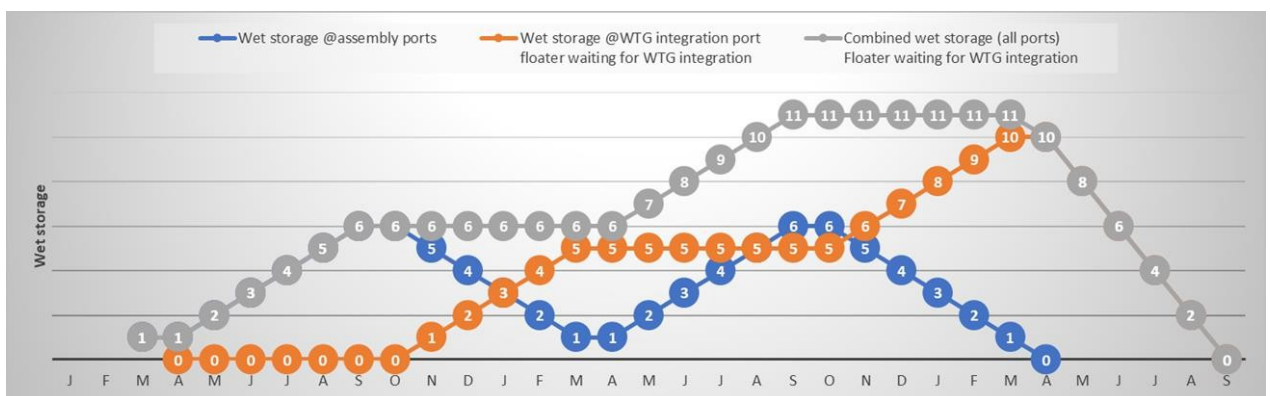


Figure 5-2 : Évolution du stockage humide au fil du temps (les valeurs du graphique représentent le nombre d'unités)

5.3 Fabrication de la sous-station offshore

La sous-station offshore sera composée de trois parties principales :

- topside : équipements électriques et auxiliaires positionnés au-dessus du niveau de la mer ;
- coque : fondation flottante ;
- système d'ancrage : câbles d'amarrage et ancrés.

La fabrication des ancrés et des cordages d'amarrage sera réalisée par des entreprises spécialisées.

La fabrication de la coque flottante suivra les mêmes principes de fabrication que ceux décrits dans la section précédente pour les fondations des éoliennes. Les structures seront en acier et la construction sera réalisée selon une approche modulaire. Pour les topsides, une approche modulaire est prévue, qui nécessitera l'intégration d'équipements fournis par des fournisseurs électriques spécialisés. Les composants électriques seront intégrés dans la structure modulaire en acier.

La construction des topsides et de la coque peut avoir lieu sur le même chantier ou sur des chantiers différents. L'intégration peut avoir lieu dans un port voisin et, si possible, dans le même port où la coque a été fabriquée. L'intégration de la partie supérieure peut être réalisée selon une approche modulaire, évitant ainsi le recours à de grandes grues.

La FOSS sera mise en service autant que possible à terre, avant le début des activités de remorquage en mer.

Le plan d'exécution du projet a pris en compte les hypothèses suivantes pour les opérations et la planification :

- coque/intégration de la partie supérieure réalisées en Italie ;
- conception du FOSS : 1 an ;
- fabrication du FOSS : 2 ans par unité ;
- mise en service à terre du FOSS : 90 jours par unité.

5.4 Méthode de transport et d'installation

5.4.1 Transport et installation de l'amarrage

Les tableaux suivants indiquent les procédures types pour l'installation du système d'ancrage et des amarres.

Tableau 5-6 : Étapes d'installation des ancrages

Étape		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Phases d'installation des ancrages			300
1.	Chargement des ancrages et des équipements d'installation dans le port	OCV	
2.	Sortie du port et navigation vers le site	OCV	
3.	Positionnement au point d'ancrage	OCV	
4.	Relevés et essais avec ROV, préparation au levage	OCV + ROV	
5.	Positionnement sous-marin de l'ancre	OCV + ROV	
6.	Enfoncement de l'ancre jusqu'à la profondeur souhaitée (et cimentation pour les pieux forés)	OCV + ROV	
7.	Récupération des équipements	OCV + ROV	
8.	Changement de position de l'ancre	OCV	
9.	Retour au port et accostage au quai	OCV	

Tableau 5-7 : Étapes d'installation de la ligne d'amarrage

Étape		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Étapes d'installation de la ligne d'amarrage			300
1.	Chargement des bobines de cordage	AHTV	
2.	Sortie du port et navigation vers le site	AHTV	
3.	Positionnement au point d'ancrage	AHTV	
4.	Raccordement de la chaîne inférieure à l'extrémité inférieure du câble	AHTV + ROV	
5.	Déblocage et déchargement du cordage d'amarrage	AHTV + ROV	
6.	Pose des amarres pour le stockage en mer + surveillance	AHTV + ROV	
7.	Réglage de la position de l'ancre	AHTV	
8.	Retour au port et accostage au quai	AHTV	

5.4.2 Transport et installation des câbles inter-réseaux et d'exportation

Les câbles inter-réseaux et d'exportation seront installés par des navires spécialisés qui effectueront les opérations de chargement, de transport et de pose.

Le tableau suivant fournit une description des opérations requises.

Tableau 5-8 : Schéma d'installation des câbles IAC

Phase		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Phases d'installation des câbles inter-réseaux			113
1.	Chargement des câbles IAC statiques et dynamiques sur le chantier de + tests post-chargement	CLV	
2.	Sortie du port et navigation vers le site	CLV	
3.	Pose des câbles en surface	CLV + ROV	
4.	Pose des câbles IAC et enfilage dans les WTG	CLV + ROV	
5.	Relevés pour as-built	CLV + ROV	

Tableau 5-9 : Phases d'installation des câbles EC

Phase		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Phases d'installation des câbles d'exportation			62
1.	Chargement des câbles d'exportation (EC) statiques et dynamiques sur le chantier de construction + test post-chargement	CLV	
2.	Sortie du port et navigation vers le site	CLV	
3.	Enfilage des câbles dans le T.O.C.	CLV, treuil	
4.	Enfilage des câbles dans le FOSS	CLV	
5.	Pose en surface des câbles d'exportation	CLV	
6.	Utilisation d'un véhicule télécommandé pour creuser des tranchées (TROV)	CLV + TROV	
7.	Enfouissement des câbles d'exportation (EC)	CLV + TROV	
8.	Récupération du TROV	CLV + TROV	
9.	Travaux de câblage des câbles EC	CLV	
10.	Relevés pour as-built	CLV + ROV	

5.4.3 Transport et installation de la sous-station offshore

L'installation des amarres de la sous-station offshore suit les mêmes étapes que celles décrites au paragraphe 5.4.1. La méthode exacte dépendra du choix final de la méthode d'amarrage.

Le tableau 5-10 donne un aperçu des opérations requises et des ressources nécessaires pour le remorquage et l'amarrage de la FOSS.

La sous-station peut être remorquée vers un port d'escale proche du site, pour un stockage intermédiaire (amarré au quai), afin de réduire les fenêtres météorologiques pour le remorquage et l'amarrage.

Tableau 5-10 : Remorquage et assistance à l'amarrage de la FOSS

Phase		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Phases d'installation de la sous-station offshore			42
1.	Remorquage du flotteur FOSS depuis le chantier d'assemblage vers le site	2 Remorqueurs offshore	
2.	Navigation vers le site	AHTV	
3.	Récupération du cordage d'amarrage préalablement préparée	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
4.	Positionnement des fondations des FOSS sur site	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
5.	Transfert de la chaîne supérieure des fondations des FOSS vers le pont du navire AHTV	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
6.	Raccordement du cordage d'amarrage à la chaîne supérieure et déploiement du câble	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
7.	Déplacement vers la corde suivante	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
8.	Application de la pré-tension prévue via le treuil ou le libération de la chaîne supérieure.	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	
9.	Retour au port	AHTV+ 2 remorqueurs offshore	

5.4.4 Transport et installation de la fondation flottante (Floater)

Transport des Floaters

Cette activité commence lorsque la fondation flottante est assemblée et que le port d'assemblage est prêt pour l'installation des éoliennes ou au moins pour amarrer le Floater au quai.

Le programme de construction du projet prévoit un remorquage en mer entre le chantier d'assemblage et le port d'intégration des éoliennes.

Le Floater doit être remorqué vers un endroit où le tirant d'eau est suffisant pour lester l'unité jusqu'au tirant d'eau opérationnel. En fonction du système de lestage, des contraintes météorologiques et des exigences, cette opération peut être effectuée sur le site offshore. En raison de l'incertitude concernant l'intégration du système de lestage dans la fondation flottante à ce stade, on suppose un temps d'achèvement des activités de 24 heures.

Tableau 5-11 : Description du transport du flotteur

Phases du transport du flotteur	Description
1. Connexion du remorqueur offshore au flotteur	Connexion des remorqueurs offshore au flotteur. Le remorquage ne commence que s'il existe une fenêtre météorologique. La présence de ports sûrs est essentielle pour les opérations maritimes, en particulier pour le remorquage. Ils offrent un abri contre les conditions météorologiques défavorables et peuvent réduire considérablement les exigences en matière de fenêtres météorologiques, c'est-à-dire les périodes pendant lesquelles les conditions météorologiques permettent d'effectuer des opérations en mer en toute sécurité. Disposer de plusieurs options de remorquage permet de planifier les opérations avec plus de flexibilité et de réduire les risques liés aux conditions météorologiques imprévisibles.
2. Remorquage vers le chantier	Le flotteur est remorqué depuis le chantier d'assemblage jusqu'au site d'installation. Les conditions météorologiques sont surveillées. Si nécessaire, le capitaine coordonne avec les autorités des ports sûrs.
3. Arrivée au chantier d'assemblage WTG	L'arrivée à destination est coordonnée avec les autorités portuaires.

Installation du flotteur

Cette activité ne commence que lorsque la fondation flottante est terminée et intégrée à l'éolienne et que le système d'amarrage a été préinstallé.

Le tableau suivant fournit une description des opérations requises.

Tableau 5-12 : Description de l'installation du flotteur

Étapes d'installation du flotteur	Description
1. Déconnexion de l'amarrage	Les remorqueurs d'altura atteignent le banchina et le flotteur est désamarré. Les remorqueurs sont reliés au flotteur et se préparent au départ.
2. Remorquage vers le site	Le flotteur est remorqué de la zone protégée vers le site d'installation. Une fois arrivés, tous les bateaux participant à l'opération sont coordonnés.
3. Positionnement du flotteur	Les remorqueurs positionnent le flotteur dans sa position finale, ajustée pour la réalisation du premier amarrage. Pour maintenir le flotteur dans la position souhaitée, on utilise le station keeping.
4. Connexion aux amarres	Le navire AHTV récupère les amarres pré-posées et les relie à la chaîne d'amarrage du flotteur sur le pont. Les remorqueurs déplacent le flotteur pour effectuer le raccordement des amarres.
5. Mise en tension de l'amarrage	Le navire AHTV utilise un tendeur en ligne pour réduire la longueur de la chaîne du système d'amarrage afin d'atteindre la pré-tension requise.

Tableau 5-13 : Étapes d'installation du flotteur

Étape		Moyens/navires	Programme pour toutes les unités [jours]
Étapes d'installation du flotteur			350
1.	Débranchement des amarres temporaires du dépôt en mer	1 remorqueur offshore 2 remorqueurs pour l'assistance	
2.	Préparatifs pour lever l'ancre	1 remorqueur offshore 2 remorqueurs d'assistance	
3.	Navigation vers le site	2 remorqueurs offshore	
4.	Récupération du point d'amarrage pré-positionnée	AHTV SOV (transfert de personnel)	
5.	Positionnement des fondations des éoliennes sur site	AHTV SOV (transfert de personnel) 1 remorque offshore	
6.	Transfert de la chaîne supérieure des fondations des éoliennes sur le pont du navire AHTV	AHTV SOV (transfert de personnel) 1 remorqueur offshore	
7.	Raccordement du cordage d'amarrage à la chaîne supérieure et déploiement du câble	AHTV SOV (transfert de personnel) 1 remorque offshore	
8.	Passage à la corde suivante	AHTV SOV (transfert de personnel) 1 remorque offshore	
9.	Application de la pré-tension du projet à l'aide du treuil ou du largage de la chaîne supérieure	AHTV	
10.	Retour au port	1 remorque offshore	

5.5 Mise en service

5.5.1 WTG

La majeure partie de la mise en service sera effectuée sur le chantier d'assemblage des éoliennes. Les autres activités de mise en service seront réalisées en mer, une fois les fondations flottantes installées et les éoliennes raccordées au réseau.

5.5.2 Flotteur

La mise en service de la fondation flottante doit être évaluée au cas par cas. En général, le projet en question ne nécessite pas de zones ou d'équipements particuliers pour la mise en service. Les systèmes auxiliaires, tels que les grues, les systèmes de lestage, etc. devront être testés et mis en service, mais ces activités font partie des activités de production.

5.5.3 Sous-station offshore

La mise en service de la FOSS implique des travaux à la fois à terre et en mer. La plupart des équipements suivront une procédure de mise en service à terre, à quai, avant d'être chargés et remorqués vers le site offshore. Cependant, les systèmes moyenne et haute tension ne peuvent être mis en service tant que les câbles inter-réseaux et d'exportation n'ont pas été raccordés, achevés, testés et mis sous tension.

5.5.4 Sous-station terrestre

Les travaux de mise en service de la sous-station, bien que moins critiques d'un point de vue opérationnel, nécessitent une planification et une coordination adéquates avec les autres parties de l'installation et l'opérateur du réseau.

Après les travaux d'installation, la séquence générale suivante est prévue pour la mise en service de l'ensemble du parc éolien :

1. mise en service de la sous-station terrestre après connexion au réseau existant ;
2. terminaison des câbles d'exportation à la sous-station terrestre ;
3. mise sous tension et essai du câble d'exportation, puis de la sous-station terrestre ;
4. terminaison des câbles IAC au niveau de la WTG principale (première section de la chaîne IAC) ;
5. mise sous tension et essai de la chaîne initiale de la chaîne IAC ;
6. mise sous tension de la WTG initiale ;
7. mise en service et essai ultérieur de la WTG ;
8. répéter les étapes 5 à 7 pour toutes les WTG de la chaîne IAC ;
9. répéter les étapes 4 à 8 jusqu'à ce que toutes les chaînes IAC soient alimentées et que les WTG associées soient mises en service.

Ce qui précède suppose le raccordement des éoliennes au niveau de la chaîne afin de garantir leur fonctionnement commercial dans les meilleurs délais. Un démarrage et une montée en puissance progressifs des machines raccordées au système sont prévus.

Titre du document	Date	Auteur	Contrôlé par	Statut	Page59 sur 61	
ATI-ING-VIA-RELCOS-R14-00	30/09/2024	Montana	Eni Plenitude	Final		

6 Conclusions

Les aspects suivants donnent un aperçu des principaux défis, risques et points critiques identifiés dans le cadre des activités de construction du projet. En outre, les mesures qui seront mises en œuvre dans les phases les plus avancées du projet afin de réduire les impacts qui y sont associés sont présentées.

Réalisation des fondations flottantes

La méthode de fabrication des fondations flottantes choisie pour le projet consiste en l'assemblage modulaire des composants dans une vaste zone portuaire équipée à cet effet.

La méthode choisie permet d'utiliser des ressources locales tout en offrant la flexibilité nécessaire pour diversifier la production des sous-ensembles dans différents endroits, ce qui permet de faire face et de réduire au minimum les goulots d'étranglement potentiels dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des parcs éoliens qui pourraient résulter de la production de fondations fixes et flottantes au cours des 5 à 10 prochaines années. La meilleure technologie disponible sur le marché sera identifiée en fonction de l'évolution du marché.

Stockage dans l'eau (Wet storage)

Le stockage humide des fondations flottantes, avant l'installation des éoliennes et avant l'accrochage des flotteurs, est nécessaire pour réduire au minimum le nombre de campagnes d'installation et la durée de location des ressources marines. Dans cette étude, on suppose que les fondations flottantes sont stockées amarrées à un quai.

Assemblage des éoliennes

Des infrastructures portuaires équipées pour l'assemblage des éoliennes à proximité du site du projet, avec des conditions de tirant d'eau adéquates, des zones de stockage et des moyens appropriés, sont nécessaires à la réalisation de l'installation. Ces infrastructures, si elles sont correctement équipées, pourraient également être utilisées pour les phases opérationnelles de l'installation.

L'identification des meilleures infrastructures disponibles sera effectuée lors des prochaines phases du projet en tenant compte des besoins décrits dans le présent rapport.

Sous-station offshore

L'étude fournit un aperçu général de la planification, des méthodes et des ressources associées à la construction d'une FOSS. Ce processus comprend la conception et la certification des composants de la FOSS (flotteur et partie supérieure), la fabrication et le transport de leurs sous-composants selon les mêmes modalités que celles prévues pour les flotteurs, puis l'assemblage des composants et leur transport vers le site du projet. Le raccordement aux amarres dans la zone du projet achèvera les travaux et la mise en service des FOSS.

L'identification de la meilleure technologie disponible sur le marché sera effectuée au cours des prochaines phases du projet, en tenant compte de l'évolution du marché.

Titre du document	Date	Auteur	Contrôlé par	Statut	Page60 sur 61	 atis
ATI-ING-VIA-RELCOS-R14-00	30/09/2024	Montana	Eni Plenitude	Final		

7 Références bibliographiques

[1]. Ramboll, (2023) ATI-RAM-TEC-TRI-RPT-0001-R00 Plan d'exécution du projet

Titre du document	Date	Auteur	Contrôlé par	Statut	Page61 sur 61	 atis
ATI-ING-VIA-RELCOS-R14-00	30/09/2024	Montana	Eni Plénitude	Final		