

# FASCICULE A. PRESENTATION DU PROGRAMME

# SOMMAIRE

## Fascicule A. Présentation du programme ..... 1

<b>1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROGRAMME</b>	<b>7</b>
1.1 Contexte du programme	7
1.2 Présentation du programme	8
<b>2 - DESCRIPTION DU PROGRAMME - CONSISTANCE TECHNIQUE</b>	<b>9</b>
2.1 Périmètres des projets du programme	9
2.1.1 Périmètre du parc éolien	9
2.1.2 Périmètre du raccordement électrique	9
2.1.3 Périmètre de la base des opérations de maintenance au port de Fécamp	14
2.1.4 Périmètre du site de fabrication des fondations gravitaires au terminal de Bougainville au Grand Port Maritime du Havre	14
2.1.5 Aires d'études des projets	19
2.2 Description et caractéristiques techniques du parc éolien	23
2.2.1 Plan d'implantation	23
2.2.2 Aérogénérateurs (mât, nacelle et rotor)	28
2.2.3 Système de balisage	37
2.2.4 Fondations	42
2.2.5 Poste de transformation en mer	47
2.2.6 Câbles électriques inter-éoliennes	53
2.2.7 Exploitation et maintenance	59
2.2.8 Démantèlement	63
2.3 Description et caractéristiques techniques du raccordement électrique	75
2.3.1 Liaison sous-marine	75
2.3.2 Liaison souterraine	90
2.3.3 Extension du poste de raccordement de Sainneville	99
2.3.4 Exploitation et maintenance	101
2.3.5 Démantèlement	102
2.4 Description et caractéristiques techniques de la base des opérations de maintenance	103
2.4.1 Principe et aménagements du projet	103
2.4.2 Aménagement architectural du projet	106
2.4.3 Travaux envisagés	110
2.5 Description et caractéristiques techniques du site de fabrication des fondations gravitaires	111
2.5.1 Préambule : modalités de réalisation des travaux de fabrication des fondations	111
2.5.2 Caractéristiques générales du site portuaire retenu pour la fabrication des fondations gravitaires	111
2.5.3 Infrastructures portuaires dédiées aux fondations gravitaires	114
2.6 Calendrier du programme	135
<b>SOURCE : EOHF, 2013, RTE, ARTELIA, 2014</b>	<b>137</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### **FIGURES :**

Figure 1 : Présentation des différentes composantes du parc éolien et de son raccordement électrique .....	8
Figure 2 : Schéma de la solution de raccordement retenue .....	10
Figure 3 : Localisation de la zone d'atterrage à Fécamp .....	11
Figure 4 : Description du tracé de la liaison souterraine (partie nord) .....	12
Figure 5 : Description du tracé de la liaison souterraine (partie sud) .....	13
Figure 6 : Localisation du site de projet de base de maintenance .....	14
Figure 7 : Localisation du site de clapage des matériaux dragués .....	15
Figure 8 : Localisation du site de projet de fabrication des fondations .....	16
Figure 9 : Alstom Haliade 150 6 MW installée en mer, Belgique .....	28
Figure 10 : Schéma de l'aérogénérateur .....	28
Figure 11 : Vues de la nacelle et du rotor assemblés .....	29
Figure 12 : Schéma d'accessibilité de la nacelle de l'éolienne Alstom Haliade 6 MW (Alstom) .....	29
Figure 13 : Mât de l'éolienne Alstom Haliade 6 MW (Source : Alstom) .....	30
Figure 14 : Exemple de navire autoélévateur (Bold tern à quai et en mode élevé), Belwind 2013 .....	32
Figure 15 : Installation en « Bunny Ear » sur le site de Belwind (Alstom) .....	33
Figure 16 : Installation par "Jack-up" (Eoliennes Offshore des Hautes Falaises).....	34
Figure 17 : Principe d'installation d'une éolienne .....	35
Figure 18 : Plan du balisage maritime du parc éolien en mer de Fécamp.....	40
Figure 19 : Schéma d'une fondation gravitaire ou GBS .....	42
Figure 20 : Moyens de transport envisagés d'une fondation gravitaire.....	44
Figure 21 : Positionnement d'une fondation gravitaire .....	45
Figure 22 : Mise en position d'une fondation gravitaire .....	45
Figure 23 : Opération de ballastage d'une fondation gravitaire .....	46
Figure 24 : Fall pipe vessel protégeant un croisement de pipe-lines .....	46
Figure 25 : Représentation possible d'un poste électrique en mer sur fondation de type Jacket .....	50
Figure 26 : Exemple d'un navire de maintenance, le Windcat MK 4.2.....	61
Figure 27 : Navire de maintenance à quai (à gauche), et sur une échelle d'accostage (à droite).....	61
Figure 28 : Sous-système constituant le parc.....	64
Figure 29 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc.....	65
Figure 30 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc.....	66
Figure 31 : Séquençage des opérations de dépose de la turbine (« bunny ear ») .....	67
Figure 32 : Moyens de dépose des protections anti-affouillements .....	68
Figure 33 : Navires envisagés pour le levage et transport des fondations gravitaires .....	68
Figure 34 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la fondation gravitaire .....	69
Figure 35 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la station électrique (plate-forme et fondation gravitaire).....	70
Figure 36 : Séquençage des opérations de dépose de la station électrique (plate-forme et fondation jacket) .....	71

Figure 37 : Synthèse des ports susceptibles d'accueillir la filière démantèlement .....	72
Figure 38 : Planning prévisionnel pour la dépose du parc (approche préliminaire).....	73
Figure 39 : Répartition des matériaux pour l'ensemble du parc .....	73
Figure 40 : Coupe d'un câble tripolaire sous-marin.....	75
Figure 41 : Exemple d'installation de J Tube pour une fondation d'éolienne .....	76
Figure 42 : Exemple de grappin utilisé pour une opération de « Prey Lay Grapnel Run » .....	77
Figure 43 : Exemple de navire câblé et d'opérations de pose de câbles.....	78
Figure 44 : Modes de pose probables des liaisons de raccordement du parc éolien en mer de Fécamp .....	80
Figure 45 : Représentation de l'ensouillage de câbles sous-marins .....	81
Figure 46 : Illustration d'un ROV de jetting .....	82
Figure 47 : Illustration d'une charrue .....	83
Figure 48 : Illustration d'une trancheuse mécanique à roue.....	83
Figure 49 : Illustration des différents types de navire de rock dumping .....	84
Figure 50 : Design de principe pour la protection par enrochement des liaisons de raccordement du parc éolien en mer de Fécamp .....	85
Figure 51 : Exemple d'un matelas béton .....	85
Figure 52 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles par le chenal .....	87
Figure 53 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles sous le musoir .....	88
Figure 54 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles sous la plage .....	90
Figure 55 : Exemple de structure d'un câble conducteur isolé à haute-tension .....	91
Figure 56 : Coupe de principe d'un bloc fourreaux PVC-béton d'une liaison souterraine à deux circuits (cotes indicatives).....	92
Figure 57 : Exemple d'une chambre de jonction pour une liaison à un seul circuit 225 000 volts.....	93
Figure 58 : Coupe de principe d'un bloc fourreaux PEHD d'une liaison souterraine à un circuit (cotes indicatives) en pleine terre .....	96
Figure 59 : Exemple de pose de fourreaux PEHD pleine terre.....	97
Figure 60 : Schémas de principe de la technique du forage dirigé .....	98
Figure 61 : Principe d'extension du poste de SAINNEVILLE .....	100
Figure 62 : vue d'artiste de la future base de maintenance .....	103
Figure 63 : Site de fabrication des fondations gravitaires .....	112
Figure 64 : Localisation de la zone de stockage temporaire des fondations .....	113
Figure 65 : Localisation des épaves dans la Darse .....	114
Figure 66 : Schéma de principe de la zone de stockage et de fabrication du béton .....	115
Figure 67 : Exemple de centrale à béton .....	116
Figure 68 : Exemple de remorques multi-essieux - projet Thorntonbank.....	117
Figure 69 : Hauteur des installations .....	118
Figure 70 : Portiques du quai de Bougainville .....	118
Figure 71 : Variante n°1 de mise à l'eau - Schéma de principe de la zone de mise à l'eau des fondations.....	119
Figure 72 : Variante n°1 de mise à l'eau – Principe de mise à l'eau et stockage provisoire de la fondation.....	119
Figure 73 : Variante n°1 de mise à l'eau - principe de mise à l'eau de la fondation.....	120
Figure 74 : Variante n°1 de mise à l'eau - principe de reprise par le ponton en U.....	120
Figure 75 : navire OSTREA - ponton en forme de « U ».....	120
Figure 76 : Variante n°2 de mise à l'eau – Vue en coupe de la rampe de mise à l'eau .....	121
Figure 77 : Variante n°3 de mise à l'eau – Vue en coupe du portique de mise à l'eau .....	122
Figure 78 : Exemple de portique pour la mise à l'eau des caissons de Tanger Med 2 .....	122
Figure 79 : Vue en coupe sur la zone de stockage immergée des fondations.....	123
Figure 80 : Exemple de DAM et dimensions principales.....	126

Figure 81 : Exemple de pelle sur ponton .....	127
Figure 82 : Exemple de barge fendable propulsée .....	127
Figure 83 : Plans masse des aménagements .....	133
Figure 84 : planning estimatif .....	134
Figure 85 : Calendrier prévisionnel des travaux des projets du programme .....	137

### **CARTES :**

Carte 1 : Localisation des installations .....	17
Carte 2: Périmètres d'études.....	21
Carte 3: Localisation des composants du parc .....	24
Carte 4 : Cheminement préliminaire des câbles électriques.....	55
Carte 5 : Position des opérations de dragage dans la Darse de l'Océan .....	129

### **TABLEAUX :**

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone de concession .....	9
Tableau 2 : Principales caractéristiques de l'installation.....	23
Tableau 3 : Surface au sol des différentes structures du parc éolien.....	25
Tableau 4 : Surface au sol concernée par les ateliers de chantier du parc éolien .....	26
Tableau 5 : Principales caractéristiques de l'éolienne Alstom Haliade 150 de 6MW .....	28
Tableau 6 : Caractéristiques des feux de balisage aérien.....	38
Tableau 7 : Caractéristiques des feux de balisage maritime .....	39
Tableau 8 : Dimension et caractéristiques approximatives maximales de la fondation de type GBS.....	43
Tableau 9 : Récapitulatif des volumes estimatifs de matériaux utilisés.....	47
Tableau 10 : Caractéristiques des équipements électriques principaux à ce stade du projet .....	48
Tableau 11 : Caractéristiques physiques préliminaires du poste .....	49
Tableau 12 : Récapitulatif des volumes attendus dans le poste à ce stade de conception .....	51
Tableau 13 : Caractéristiques indicatives des différents câbles électriques envisagés.....	54
Tableau 14 : Synthèse des filières de recyclage .....	74
Tableau 15 : Caractéristiques types des navires de maintenance d'après le Germanisher Lloyd.....	105
Tableau 16 : Caractéristiques types des navires de maintenance actuels (benchmark).....	105
Tableau 17 : Principales caractéristiques des aménagements maritimes envisagés .....	106
Tableau 18 : Localisation des terre-pleins renforcés.....	124
Tableau 19 : zone de mise à l'eau - Mise à l'eau des fondations : volume des opérations de dragage et de remblai.....	124
Tableau 20 : Zone de stockage des fondations : opérations de dragage et de remblai .....	125
Tableau 21 : Synthèse des travaux à réaliser .....	130

### **PHOTOS :**

Photo 1 : Pales pré-assemblées avant installation en mer sur le site de Belwind .....	31
Photo 2 : Chargement d'aérogénérateurs à quai .....	32
Photo 3 : Poste électrique en mer du parc éolien Dong Energy de Walney.....	47
Photo 4 : Illustration d'un câble sous-marin inter-éolien.....	57
Photo 5 : Photographies de la zone d'implantation des chambres de jonction dans la chaussée Levasseur, jusqu'à son extrémité au niveau du mur de soutènement du brise-lames .....	86

# ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie

AIS : Automatic Identification System (Système d'identification automatique)

AISM : Association Internationale de Signalisation Maritime (IALA en anglais)

CETMEF : Centre d'Etude Technique Maritime Et Fluviale

CG3P : Code Général de la Propriété des Personnes Publiques

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

CM : Côte Marine

CMH : Côte Marine du Havre

CUDPM : Convention d'Utilisation du Domaine Public Maritime

DPM : Domaine Public Maritime

DST : Dispositif de Séparation de Trafic

EMF : Eolien Maritime France

EOHF : Eoliennes Offshore des Hautes Falaises

GBS : Gravity Based Structure (fondation à embase gravitaire)

GPS : Global Positioning System

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

MW : MégaWatt

MWh : MégaWatt heure

PBMA: Plus Basse Marée Astronomique

PMVE : Plein Mer de Vives Eaux

REPHY: Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines

ROV: Remotely Operated Vehicle (ou Vessel) – Véhicule ou robot téléguidé

RTE : Réseau de Transport d'Electricité

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIC : Site d'Intérêt Communautaire

ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

ZPS : Zone de Protection Spéciale

# 1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROGRAMME

## 1.1 CONTEXTE DU PROGRAMME

Le plan de développement des énergies renouvelables de la France issu du Grenelle de l'environnement a été présenté le 17 novembre 2008. Il vise à permettre l'augmentation de la production annuelle d'énergies renouvelables de sorte qu'elle couvre au moins 23 % de la consommation d'énergie finale d'ici à 2020, objectif fixé par la directive européenne 2009/28/CE du 23 avril 2009. Cet objectif a été inscrit dans la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

Ce plan prévoit le développement de 6 000 MW<sup>1</sup> d'installations éoliennes en mer et d'énergies marines en France à l'horizon 2020.

Pour atteindre cet objectif, les pouvoirs publics ont fait le constat dès 2009 qu'une action d'envergure de planification et de concertation était nécessaire. Des « instances de concertation et de planification » au niveau de chaque façade maritime (Manche/mer du Nord, Atlantique et Méditerranée) ont été créées afin d'identifier des zones propices au développement de l'éolien en mer, au regard des enjeux techniques, réglementaires, environnementaux et socio-économiques.

Le 11 juillet 2011, le gouvernement a lancé un appel d'offres pour la réalisation de parcs éoliens en mer répartis sur cinq zones et portant sur une puissance maximale totale de 3 000 mégawatts : Le Tréport, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire.

Le cahier des charges de cet appel d'offres désigne RTE comme maître d'ouvrage et maître d'œuvre des études et de la réalisation du raccordement de chaque zone de production, le poste électrique pour chaque projet étant localisé en mer sous maîtrise d'ouvrage du consortium lauréat de l'appel d'offres.

Le 23 avril 2012, le site de Fécamp en Seine-Maritime a été attribué au consortium « Eolien Maritime France », filiale d'EDF Energies Nouvelles et Dong Energy, pour une puissance nominale de 498 MW. L'autorisation d'exploiter ce projet a été transférée à la société « Eoliennes offshore des Hautes-Falaises » (EOHF), détenue par Eolien Maritime France et wpd offshore. EOHF est le maître d'ouvrage du projet éolien en mer de Fécamp.

<sup>1</sup> 1 MW = 1 méga watt = 1 000 000 watts

## 1.2 PRESENTATION DU PROGRAMME

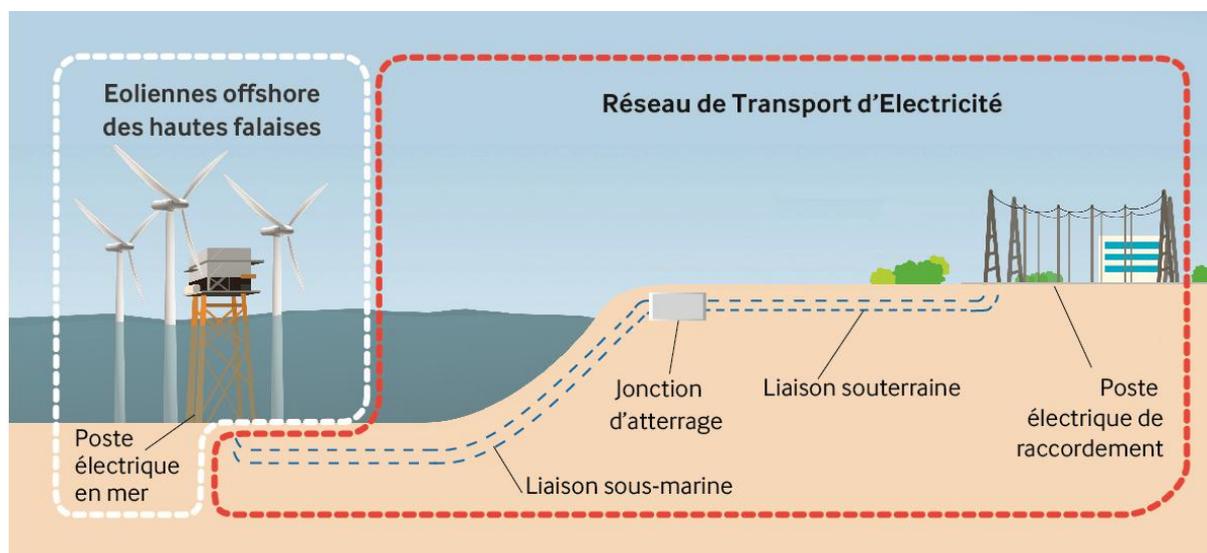
Le programme consiste en la mise en œuvre des projets suivants (voir Carte 1) :

- **Parc éolien en mer de Fécamp** : installation de production d'électricité de 498 MW sous la responsabilité du producteur éolien (EOHF), au sein d'une zone de concession de 88 km<sup>2</sup> accueillant l'ensemble des équipements du parc éolien en mer (fondations, éoliennes, poste électrique en mer et le réseau de câbles sous-marins inter-éoliennes);
- **Raccordement à terre au réseau électrique RTE** : réalisation sous la maîtrise d'ouvrage du gestionnaire du réseau public de transport d'électricité (RTE) qui se scinde de la manière suivante :
  - Liaison sous-marine avec transport de l'énergie produite en mer depuis le poste électrique en mer vers le continent et la zone d'atterrage au niveau du port de Fécamp,
  - Liaison terrestre avec transport de l'énergie par voie souterraine jusqu'au poste électrique de transformation de Sainneville.

Le raccordement du parc éolien en mer nécessitera l'extension du poste électrique à terre de Sainneville afin d'accueillir les installations électriques nécessaires au raccordement, ainsi que le renforcement du réseau entre Sainneville et Pont Sept.

- **Base des opérations de maintenance sur le port de Fécamp** : Le port de Fécamp a été retenu pour établir la base de maintenance du parc éolien en mer de Fécamp. Elle sera installée par EOHF sur la presqu'île entre l'avant et l'arrière port ;
- **Site de fabrication des fondations gravitaires au terminal de Bougainville sur le Grand Port Maritime du Havre** : Le site retenu pour la fabrication des fondations gravitaires du parc éolien en mer de Fécamp est celui de Bougainville (terminal de Bougainville et darse de l'Océan), dans l'emprise du Grand Port Maritime du Havre.

Figure 1 : Présentation des différentes composantes du parc éolien et de son raccordement électrique



Source : RTE, 2014

## 2 - DESCRIPTION DU PROGRAMME - CONSISTANCE TECHNIQUE

### 2.1 PERIMETRES DES PROJETS DU PROGRAMME

#### 2.1.1 Périmètre du parc éolien

Le projet de parc éolien en mer au large de Fécamp se compose de 83 éoliennes de 6 MW pour une capacité totale installée de 498 MW. Celles-ci seront raccordées par des câbles électriques sous-marins à un poste de transformation en mer, lui-même raccordé au réseau public terrestre d'électricité afin d'évacuer la production électrique.

Le projet de parc éolien en mer se situe au large de Fécamp en Haute-Normandie, dans les eaux territoriales françaises. Le site d'implantation est plus précisément situé dans une zone de concession entre 11,3 et 22,2 km de la côte.

Pour mémoire, la zone d'implantation du parc a été définie par l'Etat en reprenant les conclusions d'une concertation menée par le maître d'ouvrage depuis 2007 avec plusieurs parties prenantes locales (élus, pêcheurs, associations, etc.) au sein d'un Comité local de concertation et qui a permis la définition d'une zone dite de « moindres contraintes ». Sa surface totale de 88 km<sup>2</sup> est délimitée par les sommets dont les coordonnées géographiques sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone de concession

Points de référence	Longitude - système WGS 84 en degré minute centésimale	Latitude- système WGS 84 en degré minute centésimale
A	0°08,25' E	49°50,19' N
B	0°15,11' E	49°50,20' N
C	0°18,19' E	49°58,31' N
D	0°13,01' E	49°56,45' N

Source : EOHF 2014

Au sein de cette zone, les éoliennes sont situées entre 12,6 et 22 kilomètres de la côte.

La localisation précise des éoliennes, du poste électrique et des câbles au sein de la zone de concession est susceptible d'être adaptée en fonction des contraintes géologiques et des éventuels risques pyrotechniques qui pourraient être identifiés avant la réalisation effective du projet.

#### 2.1.2 Périmètre du raccordement électrique

Le raccordement électrique du parc éolien en mer comprend la réalisation des ouvrages suivants :

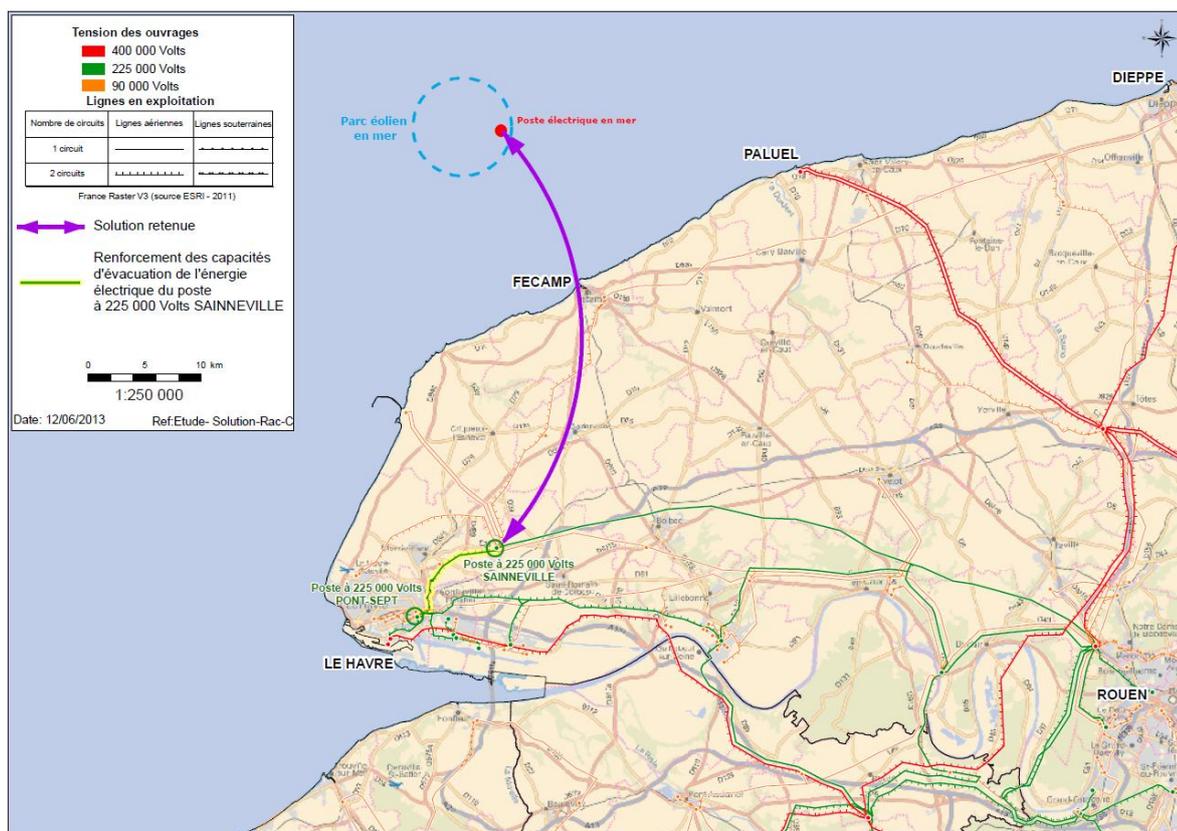
- Une liaison sous-marine reliant le poste électrique du parc éolien en mer au point d'atterrage sur le littoral situé à Fécamp ;
- Une liaison souterraine reliant le point d'atterrage à Fécamp au poste de Sainneville et assurant le raccordement au réseau public de transport d'électricité ;
- L'extension du poste électrique de Sainneville afin d'accueillir les installations électriques nécessaires au raccordement ;
- Le renforcement du réseau électrique entre le poste de Sainneville et celui de Pont Sept.

Conformément aux engagements de RTE inscrits dans le contrat de service public signé entre l'État, EDF et RTE le 24 octobre 2005, et à la circulaire du 9 septembre 2002 dite « Circulaire Fontaine », le projet de raccordement du parc éolien en mer de Fécamp a fait l'objet d'une concertation préalable sous l'égide du préfet de Seine-Maritime, associant tous les partenaires concernés (services de l'État, collectivités locales, associations, organismes consulaires, acteurs socio-économiques...).

Une réunion plénière de concertation, qui s'est tenue le 22 novembre 2013 en sous-préfecture du Havre, a permis de valider le fuseau de moindre impact de la liaison électrique souterraine du raccordement depuis le futur poste électrique en mer jusqu'au poste électrique de Sainneville, d'une part, et de la liaison souterraine de renforcement depuis le poste de Sainneville jusqu'au poste de Pont-Sept, d'autre part.

Le tracé des deux futures liaisons a alors été défini à l'intérieur de ce fuseau de moindre impact en fonction des contraintes techniques, administratives et environnementales identifiées.

Figure 2 : Schéma de la solution de raccordement retenue



Source : RTE, 2014

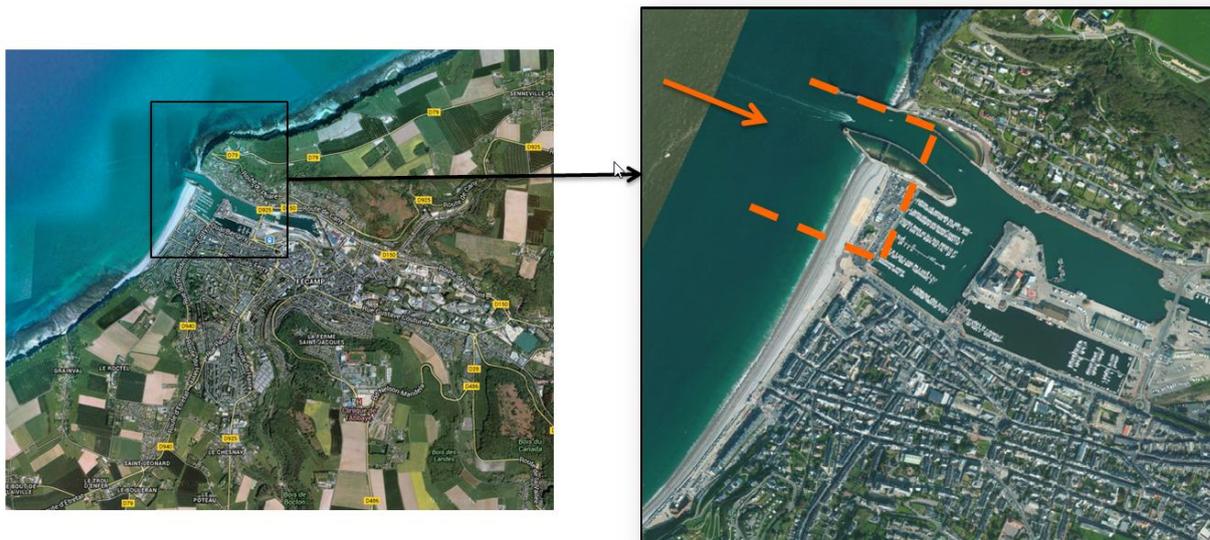
### 2.1.2.1 Liaison sous-marine et atterrage

La liaison sous-marine d'une longueur d'environ 17,5 kilomètres constituée de deux circuits à 225 000 volts, s'inscrit entre le périmètre du parc éolien en mer et l'espace littoral de Fécamp au niveau de l'atterrage. Le tracé exact au sein de ce fuseau sera déterminé par RTE une fois les études techniques détaillées réalisées.

L'atterrage (zone où se fait la jonction entre la partie marine des liaisons et leur partie terrestre) sera fait au niveau du port de Fécamp. Le raccordement entre les câbles terrestres et sous-marins se fera dans deux chambres de jonction de transition souterraines. Leur implantation est prévue dans le domaine du port de Fécamp, sous la chaussée Levasseur au sud du chenal. En plus de l'emprise des fouilles, une surface sera mobilisée pour l'installation de chantier et le tirage des câbles.

L'atterrage proprement dit se fera soit en tranchée par le chenal, soit en forage dirigé sous le musoir sud, soit en forage dirigé sous la plage près du musoir sud. Là encore, les études techniques détaillées permettront de déterminer définitivement la solution retenue pour l'atterrage des câbles.

Figure 3 : Localisation de la zone d'atterrage à Fécamp



Source : RTE, 2014

### 2.1.2.2 Liaison souterraine et renforcement du réseau de transport d'électricité à terre

Le raccordement du parc éolien de Fécamp nécessitera les travaux suivants à terre :

- **Une liaison souterraine de raccordement** à 225 000 volts, double circuit, d'environ 31 km entre la zone d'atterrage et le poste électrique de Sainneville ;
- **L'extension du poste électrique existant de Sainneville** sur 2,7 hectares : cette extension permettra d'accueillir les équipements nécessaires au raccordement des liaisons.

Par ailleurs, **il est prévu de renforcer le réseau de transport d'électricité en aval**, ce qui nécessitera :

- La création d'une liaison souterraine à 225 000 volts, double circuit, d'une longueur d'environ 12 kilomètres entre les postes de Sainneville et de Pont-Sept, qui viendra renforcer les capacités d'évacuation de l'énergie électrique du poste de Sainneville ;
- Le remplacement dans les fourreaux existants des câbles souterrains de la liaison à 225 000 Pont-Sept/Sainneville, sur une longueur d'environ 5 kilomètres entre le poste de Pont-Sept et un support situé sur la commune de Montivilliers.

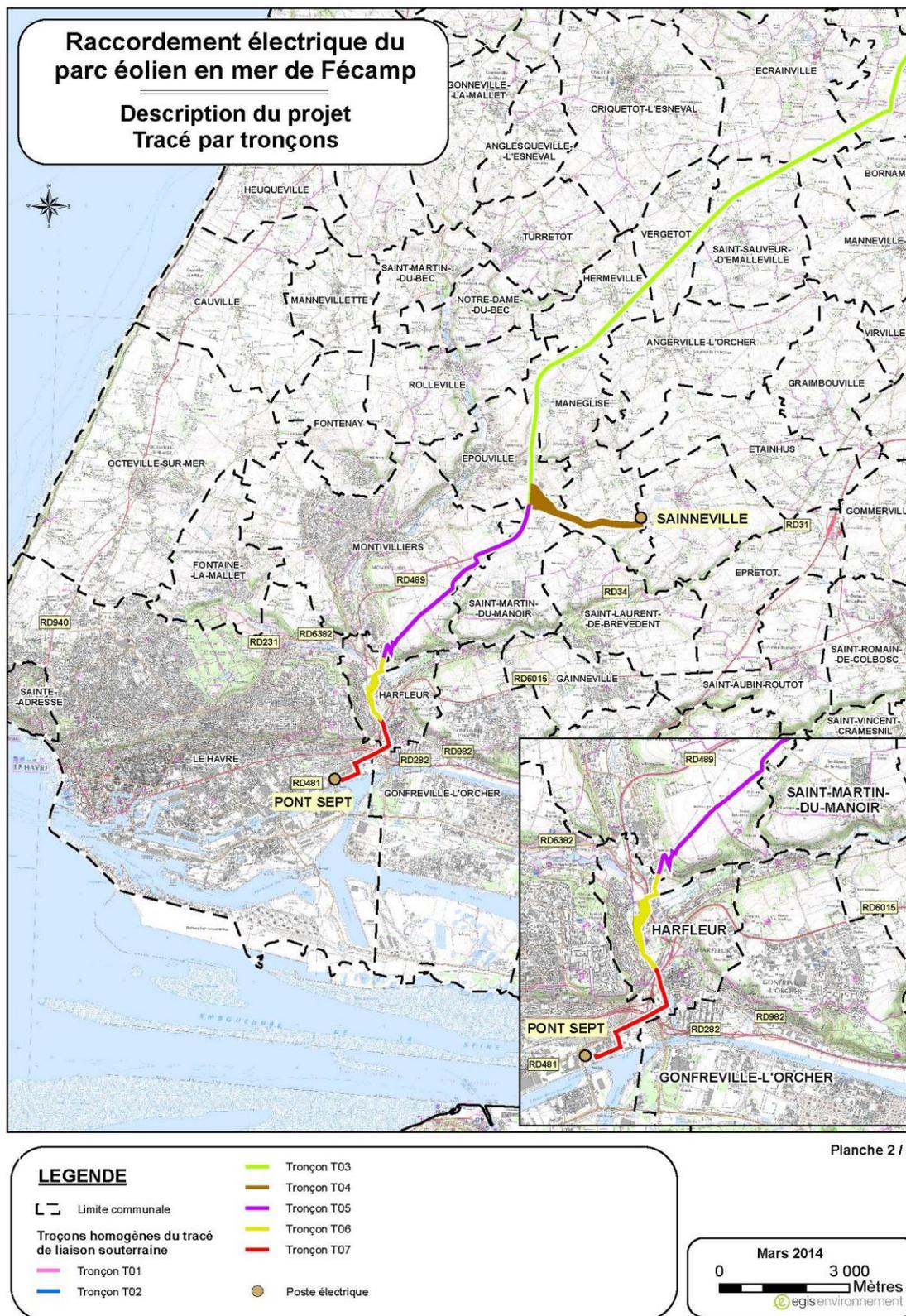
Cette solution a été validée par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie en février 2013.

Figure 4 : Description du tracé de la liaison souterraine (partie nord)



Source : RTE - Egis, 2014

Figure 5 : Description du tracé de la liaison souterraine (partie sud)

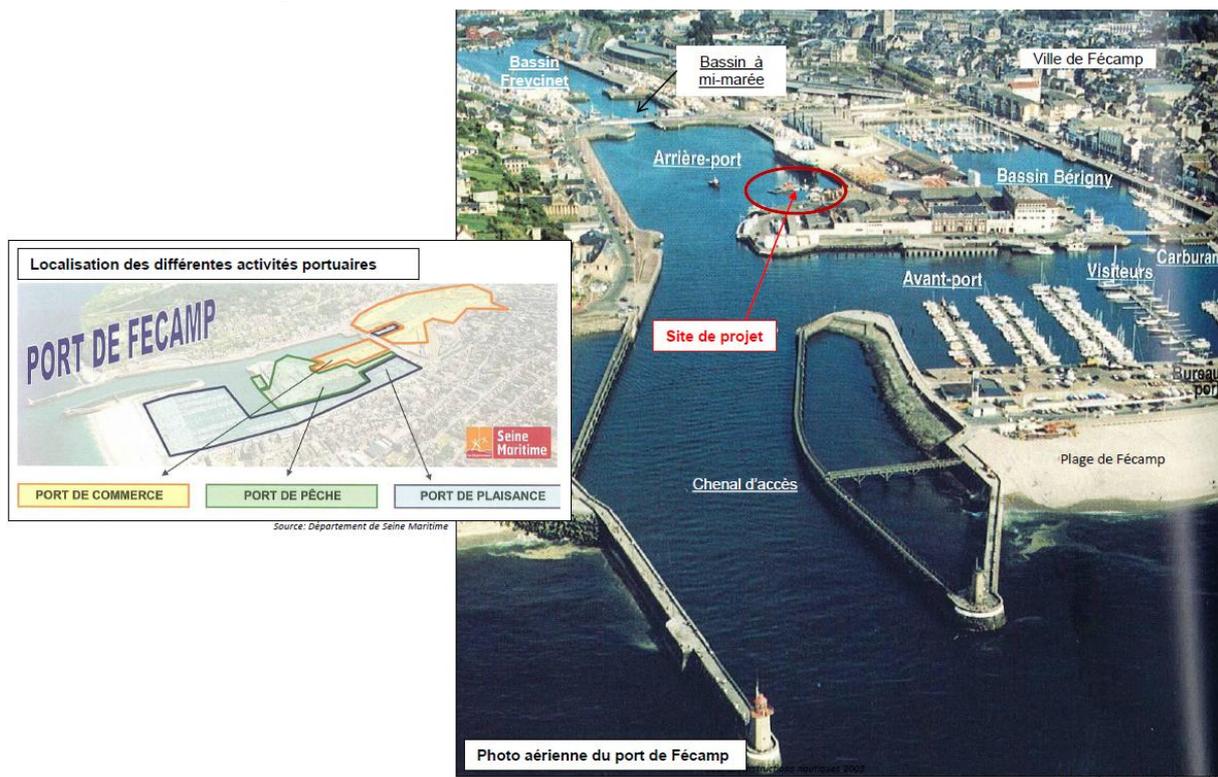


Source : RTE - Egis, 2014

## 2.1.3 Périmètre de la base des opérations de maintenance au port de Fécamp

Le port de Fécamp a été retenu pour établir la base de maintenance du champ d'éoliennes offshore de Fécamp. Elle sera installée sur la presqu'île entre l'avant et l'arrière port de Fécamp, au droit du quai de la Pêche Côtière et du quai Joseph DUHAMEL. L'emplacement prévu a une surface d'environ 4 400 m<sup>2</sup>.

Figure 6 : Localisation du site de projet de base de maintenance



La base de maintenance sera divisée en 2 zones : l'une terrestre consacrée aux bâtiments techniques et administratifs, l'autre maritime présentant des postes d'amarrage qui pourront accueillir 3 navires de maintenance.

## 2.1.4 Périmètre du site de fabrication des fondations gravitaires au terminal de Bougainville au Grand Port Maritime du Havre

Le site retenu pour la fabrication des fondations gravitaires du parc éolien en mer de Fécamp est celui de Bougainville, dans l'emprise du Grand Port Maritime du Havre.

Ce site comprend :

- D'une part le terre-plein de Bougainville pour la fabrication des fondations,
- D'autre part la darse de l'Océan susceptible de stocker temporairement des fondations avant leur acheminement vers le parc en mer.

Les aménagements suivants sont prévus :

- L'aménagement des terre-pleins du terminal avec renforcements : zone de stockage et fabrication du béton, zone de construction des fondations... ;
- La réalisation d'une mise à l'eau des fondations ;
- L'aménagement d'une zone de stockage provisoire des fondations avant leur acheminement jusqu'au parc au large de Fécamp.

Les dragages nécessaires à la réalisation des aménagements de mise à l'eau et de stockage des fondations gravitaires nécessiteront le clapage de matériaux prévus sur la zone de clapage en mer du GPMH, à Octeville

Figure 7 : Localisation du site de clapage des matériaux dragués

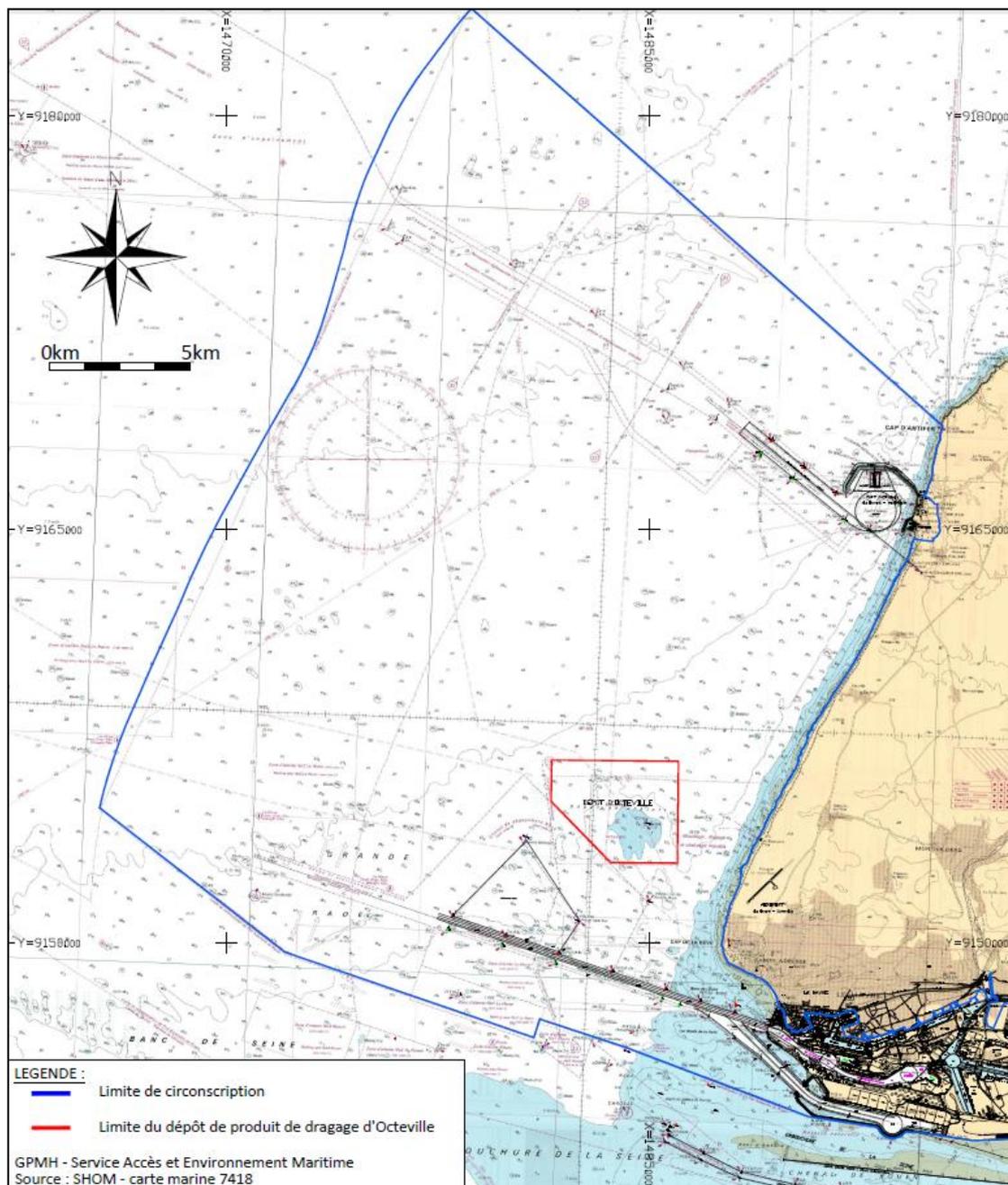
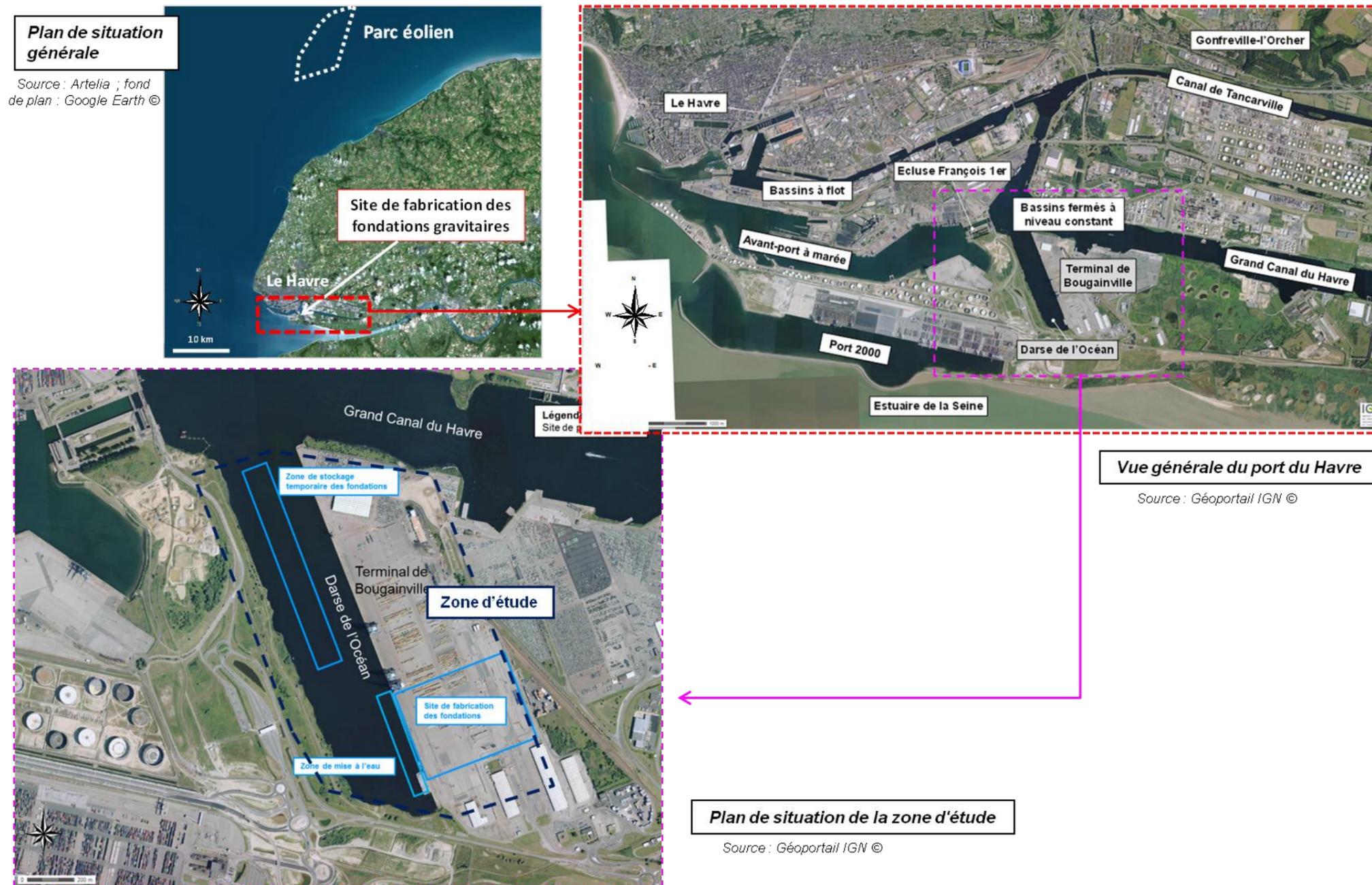
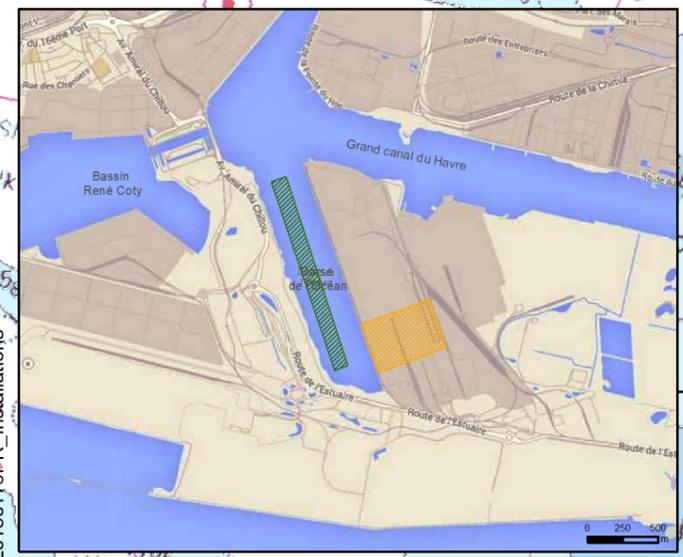
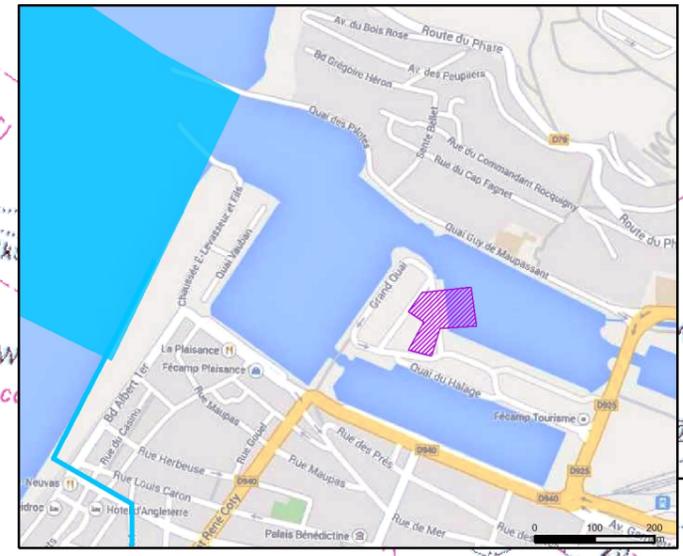
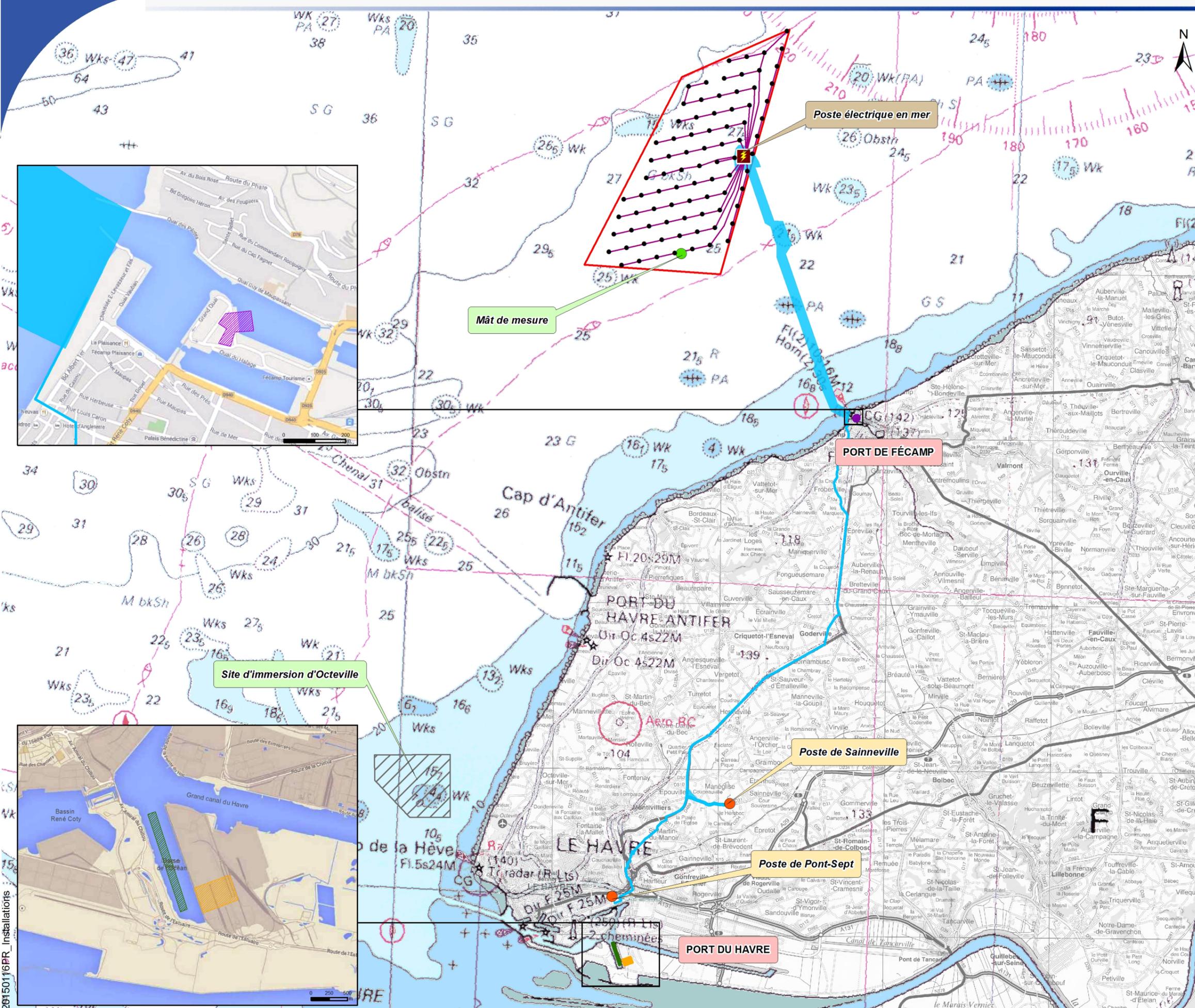


Figure 8 : Localisation du site de projet de fabrication des fondations



Source : ARTELIA, 2014



**Localisation des installations**

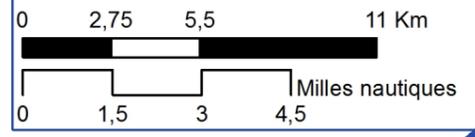


**LEGENDE**

- Parc éolien mer de Fécamp (B1)**
- Zone de concession du parc éolien en mer
- Raccordements internes en mer
- Eoliennes
- Poste électrique en mer
- Mât de mesures
- Raccordement électrique du parc éolien en mer de fécamp (B2)**
- Fuseau de moindre impact du raccordement électrique
- Postes électriques de raccordement RTE
- Base des opérations de maintenance : port de Fécamp (B3)**
- Bases des Opérations de Maintenance
- Terminal de Bougainville au grand port Maritime du Havre : site de fabrication des fondations gravitaires (B4)**
- Site fabrication des fondations (Le Havre)
- Stockage des fondations (Le Havre)
- Site d'immersion d'Octeville (usage possible lors de la construction des fondations)

Fond : Scan 50, IGN, SHOM  
Date : Septembre 2014  
Source : RTE, EOHF, 2014

**ECHELLE : 1 / 220 000**





## 2.1.5 Aires d'études des projets

Pour chaque projet du programme, différentes aires d'études ont été définies. Décrites précisément dans les fascicules B1 à B4, elles sont rappelées ci-dessous et également indiquées sur la carte suivante :

### PARC EOLIEN EN MER

- **Aire d'étude immédiate** : elle correspond à la zone retenue par l'Etat pour l'appel d'offres. Elle comprend les éoliennes, le mât de mesures, les câbles inter-éoliennes et le poste électrique en mer. Sa surface est de 88 km<sup>2</sup> ;
- **Aire d'étude éloignée** : elle correspond à l'aire d'étude éloignée définie pour l'analyse paysagère issue d'une méthode proposée par l'ADEME (Cf. fascicule B1). Elle englobe l'ensemble des aires des expertises in-situ. Sa surface est de 6 323,18 km<sup>2</sup> ;
- **Aire d'étude régionale** : elle se situe au-delà du périmètre éloigné et concerne notamment l'analyse des effets cumulés du parc avec d'autres projets connus.

### RACCORDEMENT ELECTRIQUE

Etant un ouvrage linéaire, il obéit à une logique sensiblement différente. On a ainsi commencé à étudier une aire d'étude éloignée dans laquelle le projet serait susceptible de s'inscrire avant de déterminer (en prenant en compte les contraintes administratives, environnementales et les résultats de la concertation) un fuseau de moindre impact au sein duquel sera enfin inscrit un tracé précis. On retrouve alors 3 aires différentes :

- **Aire d'étude immédiate** : il s'agit de la zone d'emprise du projet retenu ; elle correspond au tracé du projet, en y incluant les variantes potentielles.
- **Aire d'étude rapprochée** : il s'agit de la zone dans laquelle ont été définis, selon les caractéristiques environnementales locales, le fuseau de raccordement et l'emplacement du poste. Il s'agit de l'aire d'étude qui sera potentiellement concernée par des impacts directs, en particulier lors de la phase travaux. Toutes les communes traversées par le fuseau d'étude validé lors de la phase de concertation sont incluses.
- **Aire d'étude éloignée** : cette aire d'étude permet l'appréhension, la connaissance et l'analyse des grands ensembles (masses d'eau, géologie...), phénomènes à grande échelle (dispersion atmosphérique régionale, climat...) et macro-activités (macro-économie, répartitions urbaines...). Pour la partie maritime, l'aire d'étude éloignée intègre la Manche, entre l'océan atlantique et la Mer du Nord. Pour la partie terrestre, cette aire d'étude éloignée est limitée à l'ouest et au sud par le trait de côte et étendue à l'arrondissement du Havre.

### BASE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE SUR LE PORT DE FECAMP

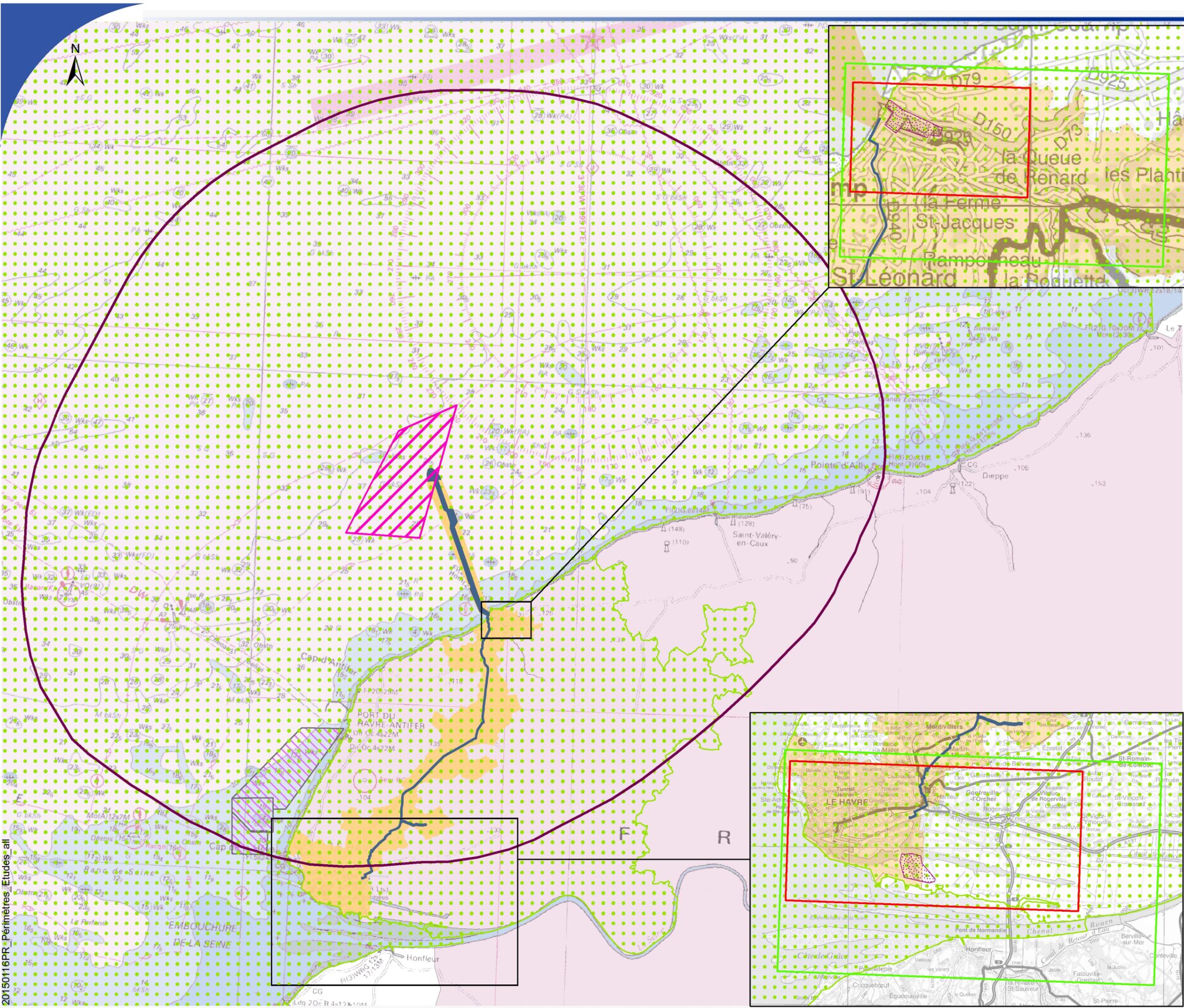
Différentes aires d'étude ont été définies pour l'analyse de l'état initial du site et l'évaluation des effets directs ou indirects du projet. Leurs emprises varient selon le domaine d'étude pour appréhender au mieux les différents enjeux :

- **Aire d'étude milieux physique et vivant** : il s'agit du site portuaire (bassins etc.) ;
- **Aire d'étude milieu humain et paysage** : il s'agit du centre-bourg de Fécamp réparti autour de la zone portuaire ;
- **Aire d'étude milieu naturel (protections)** : il s'agit de l'emprise de la commune de Fécamp.

## SITE DE FABRICATION DES FONDATIONS GRAVITAIRES AU TERMINAL DE BOUGAINVILLE AU GRAND PORT MARITIME DU HAVRE

Différentes aires d'étude ont été définies pour l'analyse de l'état initial du site et l'évaluation des effets directs ou indirects du projet. Leurs emprises varient selon le domaine d'étude pour appréhender au mieux les différents enjeux :

- **Aire d'étude milieux physique et vivant** : il s'agit du site portuaire (la darse de l'Océan, sa rive ouest et le terminal de Bougainville dans son intégralité) ;
- **Aire d'étude milieu humain et paysage** : il s'agit du site industrialo-portuaire du Havre ainsi que de la ville (unité suffisamment grande pour appréhender les différents enjeux humains et paysagers) ;
- **Aire d'étude milieu naturel (protections)** : il s'agit d'un rayon de 10 km autour du périmètre du projet (emprise maximaliste) ;
- **Aire d'influence des dragages** : il s'agit de l'aire des effets physiques du dragage des sédiments (= panache turbide)



**Aires d'études**

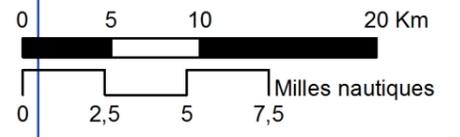


- LEGENDE**
- Aires d'études du parc**
- Aire d'étude immédiate
  - Aire d'étude éloignée
  - Aire d'étude régionale
- Aires d'études du raccordement**
- Aire d'étude immédiate
  - Aire d'étude rapprochée
  - Aire d'étude éloignée
- Aires d'études des ports**
- Aires d'études milieu physique/milieu vivant
  - Aires d'études milieu humain et paysage
  - Aires d'études milieu naturel (protection)
  - Aire d'influence zone d'immersion d'Octeville

FOND :  
Scan 50, IGN, SHOM  
Septembre 2014  
Source :  
RTE, 2013  
EGIS, 2014



**ECHELLE : 1 / 400 000**



20150116PR\_Perimetres\_Etudes\_all



## 2.2 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU PARC EOLIEN

### 2.2.1 Plan d'implantation

Les éoliennes sont situées entre 12,5 et 22 kilomètres de la côte.

Les éoliennes seront implantées selon :

- Un alignement suivant l'axe 225° (courant marin dominant) avec un espacement entre les éoliennes de 1 093 m ;
- Un alignement suivant l'axe 13,7° (alignement depuis Etretat) et avec un espacement entre les éoliennes de 1 094 m

Tableau 2 : Principales caractéristiques de l'installation

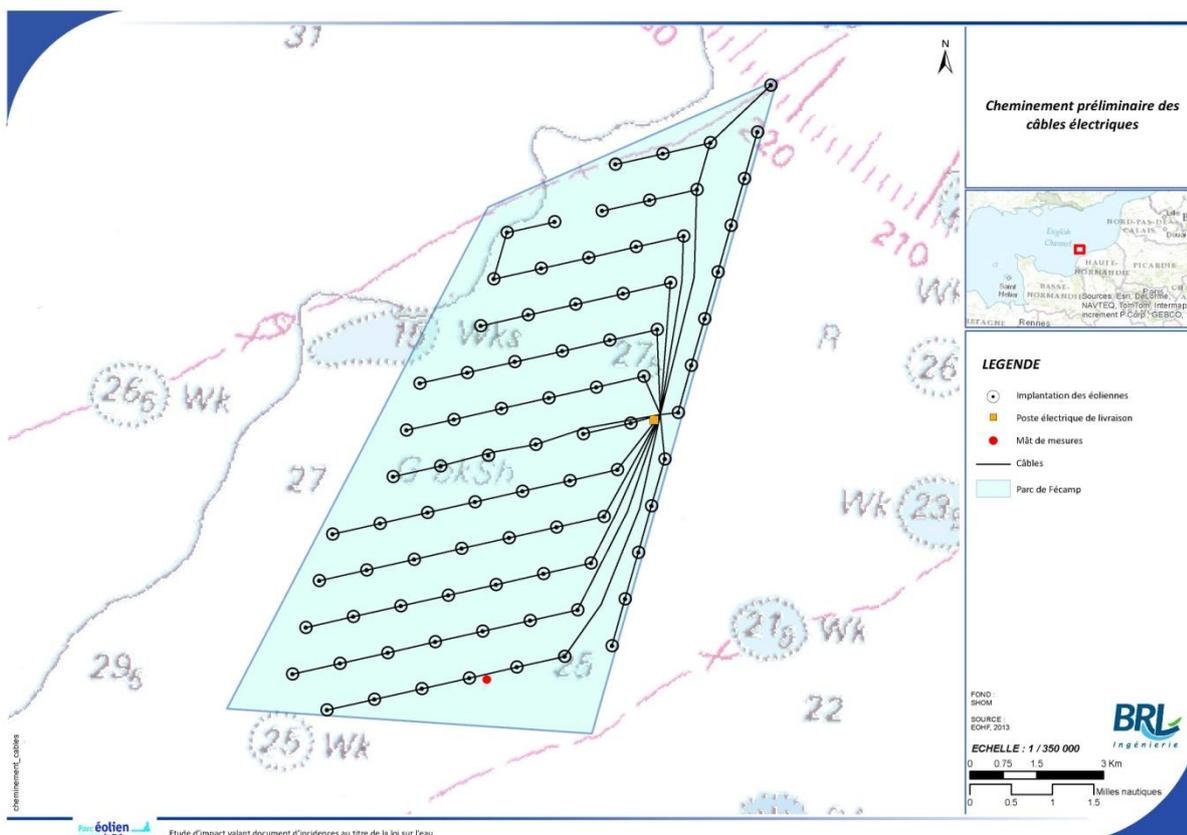
Eléments	Caractéristiques
Nombre d'éoliennes ALSTOM 6MW	83
Puissance totale du parc	498 MW
Surface totale du parc	66,6 km <sup>2</sup>
Surface totale de la zone d'appel d'offres	88 km <sup>2</sup>
Distance à la côte au point le plus proche	12,5 km à 22km
Nombre de sous-stations électriques en mer	1
Orientation des lignes d'éoliennes	13,7° et 255°
distance entre deux éoliennes	plus de 1km

Source : EOHF, 2014

La localisation du poste électrique a été définie en fonction d'un tracé de câbles prenant en compte les enjeux liés à la sécurité maritime et aux usages de la pêche professionnel dans la zone. La localisation de ce poste, qui constitue la limite de propriété entre EOHF et RTE a ainsi été définie par EOHF.

La localisation précise des composants du parc (éoliennes et fondations, poste électrique en mer et câbles) au sein de la zone de concession est susceptible d'être adaptée en fonction des contraintes géologiques et des éventuels risques pyrotechniques identifiés.

Carte 3: Localisation des composants du parc



La surface au sol concernée par l'installation, correspond à l'emprise des installations du parc, c'est-à-dire :

- les fondations des éoliennes (de type GBS), incluant la couche de préparation du sol et la protection anti-affouillement ;
- la fondation du poste électrique en mer ;
- les câbles inter-éoliennes et leurs éventuelles protections.

La répartition des surfaces d'emprise pour chacun des ouvrages décrits ci-dessus est explicitée dans le Tableau 3

La surface au sol concernée par les travaux correspond à :

- L'emprise des installations du parc détaillées ci-dessus,
- L'emprise des pieds des barges installant les éoliennes et le poste électrique,
- L'emprise des travaux de pose des câbles

La répartition des surfaces concernées pour chacun des ouvrages ou travaux décrits ci-dessus est explicitée dans le Tableau 4.

Tableau 3 : Surface au sol des différentes structures du parc éolien

Composant	Sous-composant et hypothèses		Nombre d'unités	Superficie impactée par unité (m <sup>2</sup> )	Surface totale impactée (m <sup>2</sup> )	Surface totale impactée (km <sup>2</sup> )
Eoliennes	Fondations de type GBS	Couche d'assise (diamètre ~ 70 m), incluant les surface concernées par les GBS (diamètre ~ 36 m) et la protection anti-affouillement	83 fondations	4 000	<b>332 000</b>	<b>0,332</b>
Câblage	Câbles enrochement et	Si ensouillage à 100 %	115km au total au sol	15 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur du câble)	<b>17 550</b>	<b>0,018</b>
		Si ensouillage sur 75% et enrochement sur 25%	88 km ensouillé  29 km avec enrochement	15 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur du câble)  1150 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur de l'enrochement)	<b>346 700</b>	<b>0,347</b>
Poste électrique en mer	Hypothèse : Fondation de type GBS	Surface concernées par la préparation du sol, par les GBS et la protection anti-affouillement (diamètre total = 70 m)	1 poste électrique	4 000	<b>4 000</b>	<b>0,004</b>
	Hypothèse : Fondation <i>Jacket</i>	Pieux de la fondation (4 à 8 unités)		130	<b>1 040</b>	<b>0,001</b>
<b>Total</b>					<b>Entre 350 590 m<sup>2</sup> et 682 700 m<sup>2</sup></b>	<b>Entre 0,35 km<sup>2</sup> et 0,68 km<sup>2</sup></b>

Source : EOHF 2014

Tableau 4 : Surface au sol concernée par les ateliers de chantier du parc éolien

Composant	Sous-composant et hypothèses		Nombre d'unités	Superficie au sol par unité (m <sup>2</sup> )	Surface au sol totale (m <sup>2</sup> )	Surface au sol totale (km <sup>2</sup> )
Éoliennes	Fondations de type GBS	Sans dragage préalable de la craie altérée : couche d'assise (diamètre = 70 m), incluant les surface concernées par les GBS (diamètre = 36 m) et la protection anti-affouillement	83 fondations sans dragage	4 000	<b>332 000</b>	<b>0,332</b>
		Si dragage préalable : 20% des emplacements des fondations pourraient nécessiter une préparation du sol spécifique impliquant une surface à draguer (surface maximale de 6 400 m <sup>2</sup> par fondation) ainsi qu'une surface de dépôt des sédiments dragués (surface maximale de 15 000 m <sup>2</sup> par fondation)	17 fondations avec dragage 66 fondations sans dragage	21 400 4 000	<b>627 800</b>	<b>0,628</b>
	Atelier d'installation des éoliennes	Barges Jack up (110 m <sup>2</sup> par pied)	83 positions de <i>jack-up</i>	660	<b>54 780</b>	<b>0,055</b>
Câblage	Câbles, tranchée ou enrochement	Si ensouillage à 100 %	117 km au total au sol	300 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur de la tranchée)	<b>351 000</b>	<b>0,351</b>
		Si ensouillage sur la partie recouverte de gravier (75%) et encochement sur celle crayeuse (25%)	88 km ensouillé  29 km avec enrochement	300 m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur du câble)  1150 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire (largeur de l'enrochement)	<b>597 500</b>	<b>0,597</b>
Poste électrique en mer	Hypothèse : Fondation de type GBS	Surface concernées par la préparation du sol, par les GBS et la protection anti-affouillement (diamètre total = 70 m) ainsi qu'une surface de dépôt des sédiments dragués (surface maximale 15 000 m <sup>2</sup> par fondation)	1 fondation	21 400	<b>21 400</b>	<b>0,021</b>

		Barges Jack up pour le poste électrique (4 à 6 pieds, 110 m <sup>2</sup> par pied)	1 jack-up	660	<b>660</b>	<b>0,001</b>	
	Hypothèse : Fondation <i>Jacket</i>	Pieux de la fondation (4 unités)	4 à 8 pieux	130	<b>1 040</b>	<b>0,001</b>	
		Barges Jack up pour le poste électrique, le jacket et les pieux du jack-up (4 à 6 pieds, 110 m <sup>2</sup> par pied)	6 jack-up (4 pour les pieux, 1 pour le jacket, 1 pour le poste)	4000	<b>4 000</b>	<b>0,004</b>	
<b>Total</b>					<b>Entre 742 820 m<sup>2</sup> et 1 302 140 m<sup>2</sup></b>		<b>Entre 0,74 km<sup>2</sup> et 1,30 km<sup>2</sup></b>

**La surface totale au sol impactée :**

- de manière permanente par l'ensemble des équipements est au maximum de 0,68 km<sup>2</sup>, soit 0,77 % de la zone de concession (88 km<sup>2</sup>).
- de manière temporaire par l'ensemble des ateliers est au maximum de 1,30 km<sup>2</sup>, soit 1,47 % de la zone de concession (88 km<sup>2</sup>).

## 2.2.2 Aérogénérateurs (mât, nacelle et rotor)

### 2.2.2.1 Construction, livraison et assemblage

L'éolienne proposée pour le projet est une éolienne Alstom Haliade 150 de 6 MW, dont les caractéristiques principales sont indiquées dans le tableau et la figure ci-dessous :

Tableau 5 : Principales caractéristiques de l'éolienne Alstom Haliade 150 de 6MW

Caractéristiques générales	
Position du rotor par rapport au mât	Rotor face au vent
Hauteur du moyeu du rotor	104 mètres environ par rapport au niveau moyen de la mer
Diamètre du rotor	150,95 mètres
Plage de vitesse de rotation du rotor	Entre 4 et 11,5 tours par minute
Mât	Mât tubulaire en acier
Classe IEC	I-B

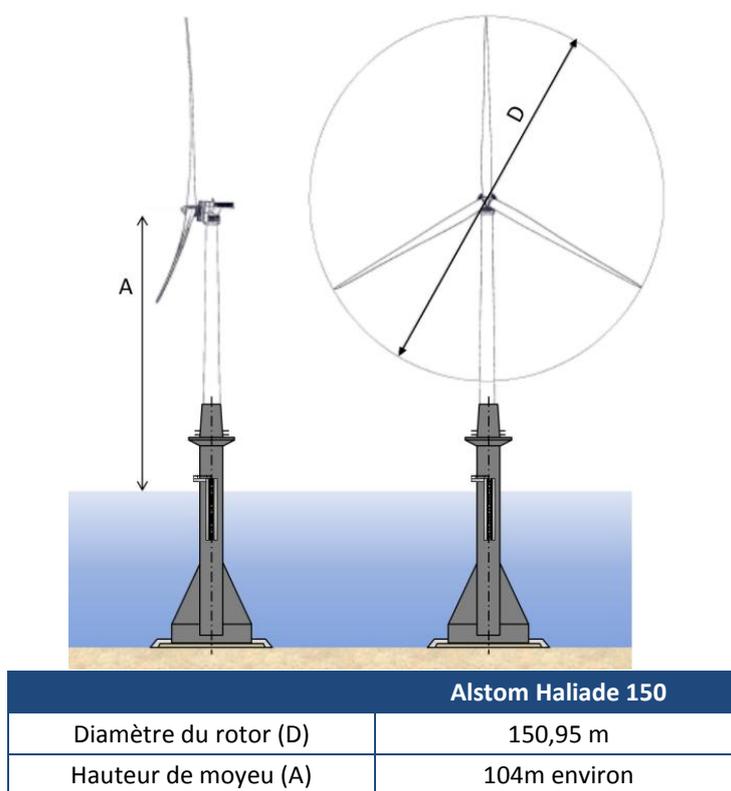
Source : EOHF, 2014

Figure 9 : Alstom Haliade 150 6 MW installée en mer, Belgique



Source : Alstom, 2014

Figure 10 : Schéma de l'aérogénérateur



Source : EOHF, 2013

Les éoliennes installées en mer seront de couleur blanche (RAL 7035), conformément aux dispositions de l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques (sauf système de balisage).

## NACELLE

Les dimensions prévues pour la nacelle sont d'environ 20m x 8m x 8m (longueur, largeur, hauteur) y compris le moyeu. Son poids avoisine les 356 tonnes. La nacelle contient des éléments structurels (châssis, couplage du rotor, roulements...), des composants électromécaniques (génératrice, système d'orientation au vent, système d'ajustement des pales...) et des éléments de sécurité (éclairage, extincteurs, freins etc.).

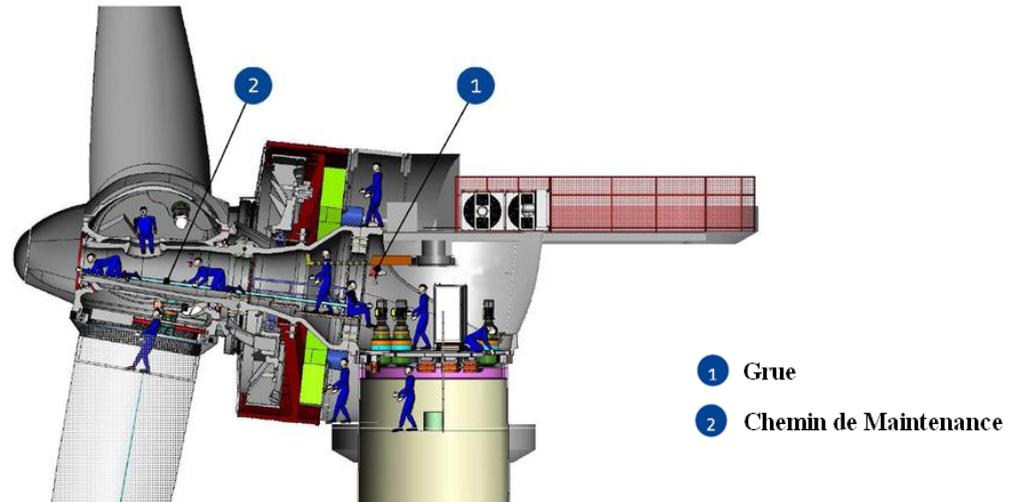
Figure 11 : Vues de la nacelle et du rotor assemblés



Source : EOHF, 2013

L'éolienne Alstom Haliade 150 6 MW dispose d'une nacelle équipée (grue, plateforme d'hélicoptère, ascenseur), facilitant les opérations de maintenance grâce à l'accessibilité de ses composants.

Figure 12 : Schéma d'accessibilité de la nacelle de l'éolienne Alstom Haliade 6 MW (Alstom)

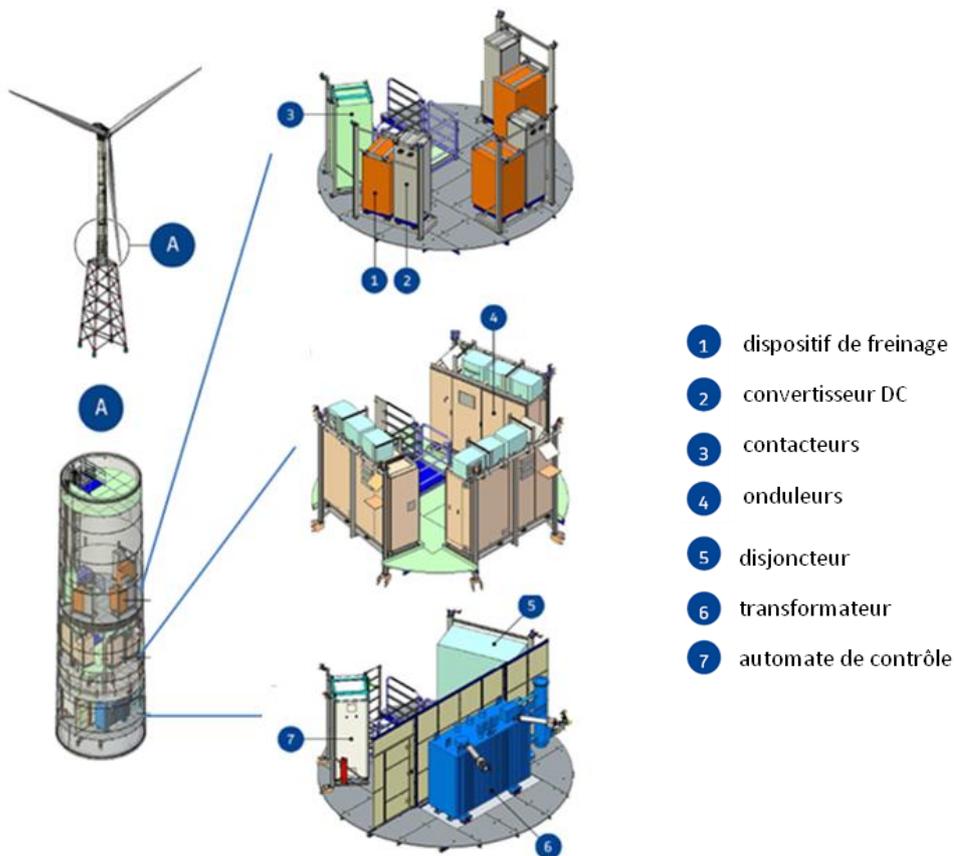


Source : EOHF, 2013

## MAT

Le mât de l'éolienne Alstom Haliade 150 6 MW abrite l'ensemble des équipements électriques de l'éolienne notamment les onduleurs et transformateurs ainsi qu'un ascenseur permettant un accès sécurisé à la nacelle.

Figure 13 : Mât de l'éolienne Alstom Haliade 6 MW (Source : Alstom)



Source : EOHF, 2013

Le mât de l'éolienne est tubulaire à sections coniques. Il est constitué d'un acier traité et recouvert d'un revêtement spécifique afin de résister à l'air marin. La tour, dont le poids total est de l'ordre de 400 tonnes, est divisée en trois tronçons.

Les sections de tour sont assemblées au moyen de brides boulonnées. La tour contient des structures secondaires internes (plateformes, échelles, monte-charge...), des équipements électriques (câbles, transformateur, cellules, convertisseur,...) et des équipements de sécurité (éclairage, extincteurs,...).

## **ROTOR – PALES**

Les pales sont essentiellement constituées en matériaux composites. Elles mesurent 73,5 m de long, 4,5 m au plus large et pèsent 28 tonnes chacune.

*Photo 1 : Pales pré-assemblées avant installation en mer sur le site de Belwind*



*Source : EOHF, 2013*

### **2.2.2.2 Assemblage**

Il est prévu que les composants des éoliennes soient fabriqués par Alstom à Cherbourg (pales et mâts) et à Saint-Nazaire (génératrices et nacelles). Ces composants seront ensuite acheminés vers un site d'assemblage, où seront effectuées les opérations de pré-assemblage des éoliennes.

Ce site d'assemblage est utilisé pour stocker les composants des éoliennes avant leur assemblage, et pour pré-monter les éoliennes avant qu'elles ne soient embarquées sur les navires d'installation.

Le pré-assemblage des éoliennes permet d'effectuer les opérations suivantes :

- Collecter l'ensemble des éléments composant les éoliennes :
  - Nacelles,
  - Pales,
  - Sections de mâts,
- Effectuer les opérations de pré-assemblage.

L'assemblage des éoliennes peut être réalisé selon plusieurs méthodes alternatives :

  - Pales :
    - aucun pré-assemblage à terre (transport et installation une à une),
    - pré-assemblage de deux pales sur le sous-ensemble rotor-nacelle (configuration « Bunny Ear »),
    - pré-assemblage des trois pales sur le rotor
  - Sections de mâts :
    - aucun pré-assemblage à terre (transport et installation des sections une à une),
    - pré-assemblage de deux sections (la section basse T1, et la section haute, T2+T3),
- Transporter vers le parc de Fécamp les éléments éventuellement pré-assemblés pour leur installation sur site.

Photo 2 : Chargement d'aérogénérateurs à quai



Source : EOHF, 2014

Ces opérations nécessitent de disposer d'infrastructures portuaires aptes à accueillir des éléments de fort tonnage (pouvant atteindre entre 400 et 500 tonnes) :

- Les quais doivent être dimensionnés pour permettre le stockage en bord à quai de ces éléments,
  - Les plateformes terrestres doivent permettre un stockage sur le long terme
  - La souille du quai doit permettre l'appui des jambes des navires autoélévateurs en bord à quai
- A ce stade, il est envisagé que le port de Cherbourg soit utilisé comme site d'assemblage pour le parc de Fécamp.<sup>2</sup>

### 2.2.2.3 Transport et installation

L'installation des aérogénérateurs se fera depuis un navire auto-élévateur pouvant avoir 4 ou 6 jambes.

Figure 14 : Exemple de navire autoélévateur (Bold tern à quai et en mode élevé), Belwind 2013



Source : Alstom, 2013

Suivant la solution et le navire retenus, entre 4 et 7 aérogénérateurs seront transportés par voyage (voire un peu plus dans le cas où les pales seraient installées une par une).

<sup>2</sup> Les études et échanges menées avec le Grand Port Maritime du Havre pour implanter le site d'assemblage sur le port du Havre, initialement pressenti, n'ont pas permis d'aboutir à une solution techniquement et industriellement acceptable.

Le chargement des aérogénérateurs se fera à l'aide de la grue du navire par levage ou par engins multi-roues suivant les moyens et les facilités d'accès au navire disponibles.

La capacité de la grue du navire se situe entre 800t et 1500t en fonction de la distance envisagée par rapport à la position des composants pendant les opérations de chargement et la position de la fondation pour l'installation en mer.

Le navire transite alors jusqu'au site. Une fois sur le site, il se met en position à environ 25m de la fondation. Il réalise ensuite le pré-chargement de ses jambes sur le fond et s'élève de plusieurs mètres au-dessus du niveau de l'eau. Un navire autoélévateur a entre 4 et 6 jambes, ayant chacune environ 110 m<sup>2</sup> d'emprise sur le fond marin, soit une emprise globale sur le sol de 660 m<sup>2</sup>.

Ensuite, il installe les sections du mât (pré-montées ou non) puis la nacelle avec deux pales (alternative « Bunny Ear »), ou la nacelle seule et enfin il installe la(les) pale(s) restante(s) selon la méthode d'installation retenue.

Une fois un aérogénérateur installé, le navire descend le long de ses jambes jusqu'à être posé sur l'eau, remonte ses jambes jusqu'à ce qu'il puisse naviguer à faible vitesse même avec une partie de ses jambes immergées puis se repositionne à l'emplacement de l'aérogénérateur suivant et recommence les opérations d'installation jusqu'à ce que l'ensemble des aérogénérateurs soit installé. Il revient alors au quai du port logistique d'assemblage pour charger d'autres aérogénérateurs.

Figure 15 : Installation en « Bunny Ear » sur le site de Belwind (Alstom)



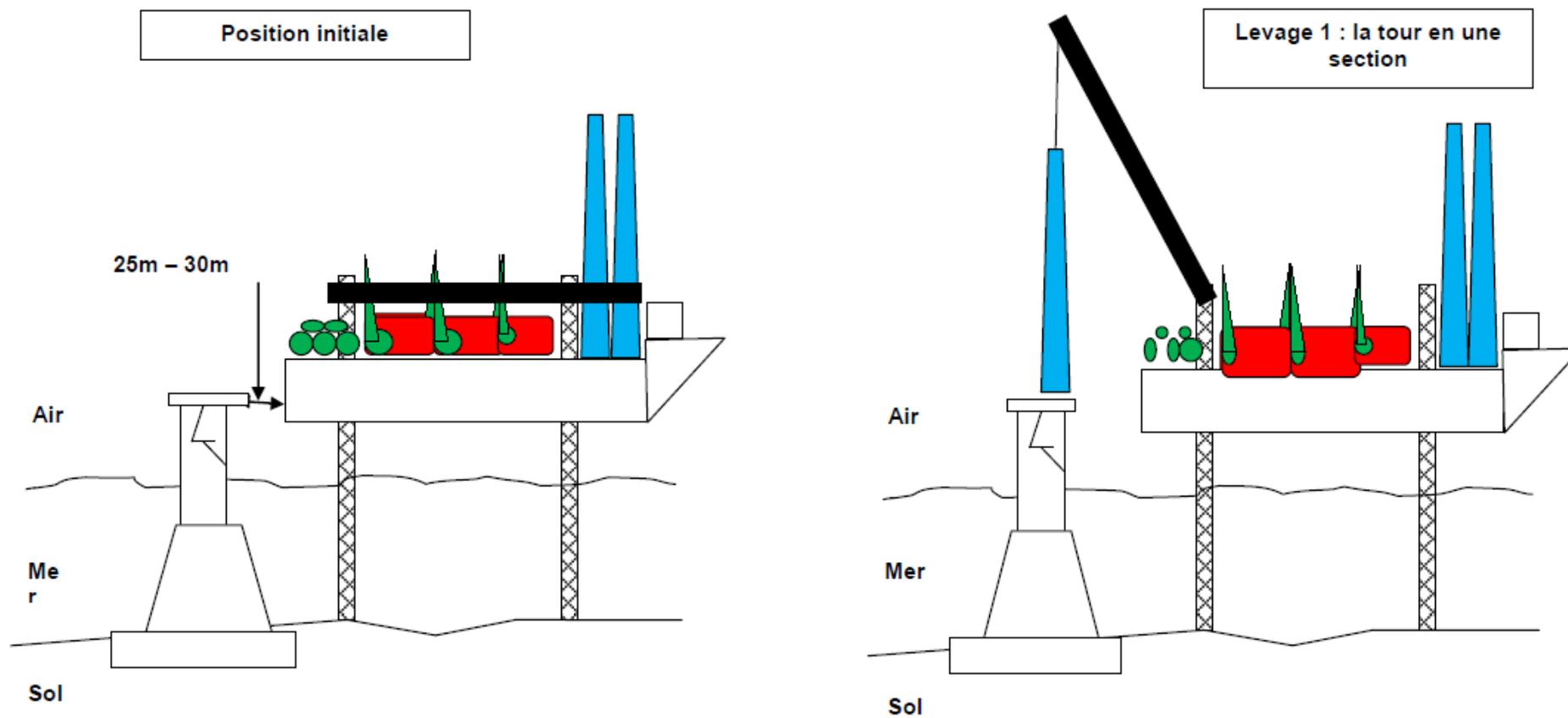
Source : EOHF, 2014

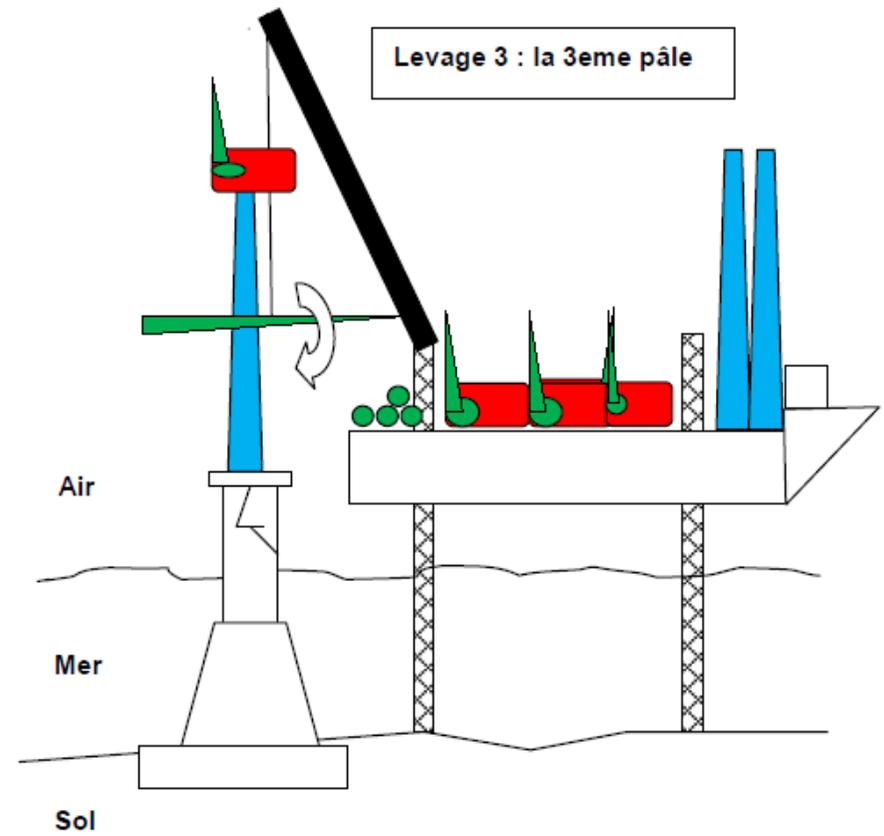
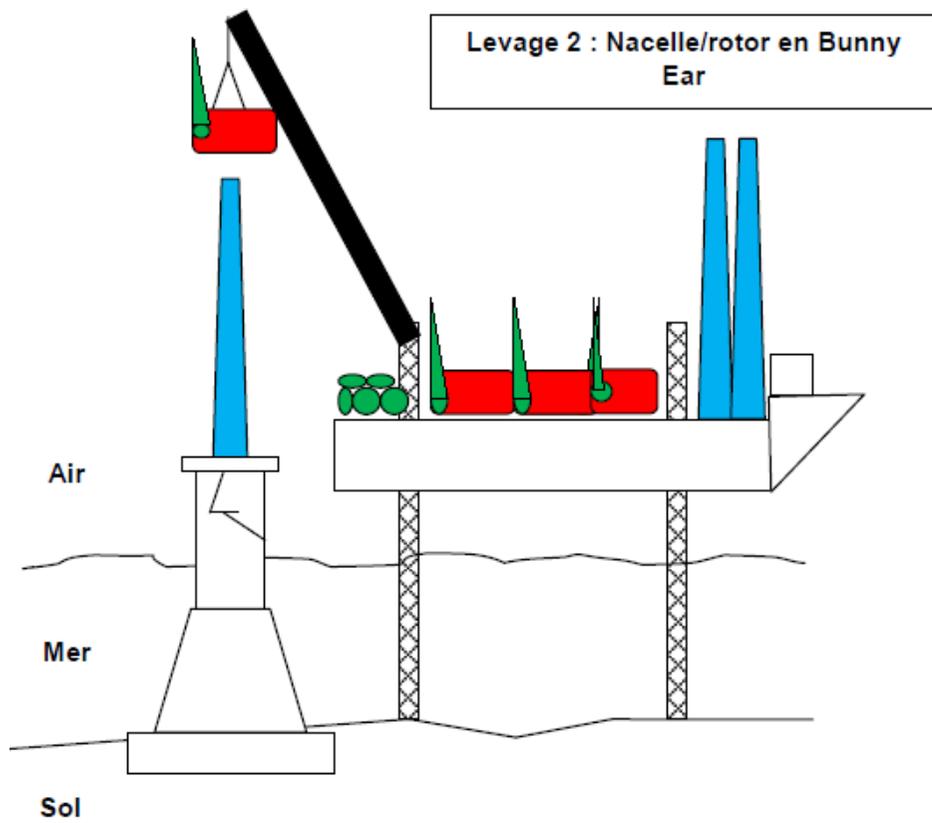
Figure 16 : Installation par "Jack-up" (Eoliennes Offshore des Hautes Falaises)



Source : EOHF, 2014

Figure 17 : Principe d'installation d'une éolienne





Source : EOHF, 2014

#### 2.2.2.4 *Fonctionnement*

##### **CONTROLE-COMMANDE**

Les éoliennes sont autonomes (arrêt automatique en cas de panne, défaut...) et peuvent être opérées en mer par les personnels de maintenance, ainsi que par les équipes à terre. L'éolienne Alstom Haliade 150 6 MW dispose d'un système de contrôle et de supervision constitué d'un ensemble de capteurs généralement redondants, de composants électroniques, de calculateurs et d'une infrastructure orientée vers la transmission, le traitement et la présentation des données opérationnelles de l'éolienne. Il collecte l'information sur le parc éolien pour la mettre à disposition du personnel responsable de l'exploitation et fournit des données à la fois en temps réel et sous forme d'archives pour l'analyse de l'exploitation. Les données sont relevées en temps réels via le réseau de fibre optique qui relie le parc éolien à la terre (intégré aux câbles électriques)

Les principales opérations sur le parc éolien ainsi que son contrôle proprement dit peuvent en outre être réalisés à partir des bâtiments d'exploitation à l'aide des moyens de communication des données. Le système de contrôle commande permet de se connecter à distance au système d'orientation des pales, au convertisseur, au système d'orientation de la nacelle et au système de mesure vibratoire. Enfin, il permet de superviser l'ensemble du parc éolien en mer et fournit des images des conditions météorologiques à terre et en mer.

##### **ROTATION DES PALES**

La vitesse de rotation du rotor est comprise **entre 4 et 11,5 tours/min** (nominal : 11,5 tours par minute), pour une vitesse de vent comprise entre **3,5 m/s et 25 m/s**. L'inclinaison de l'axe du rotor est de 6° afin d'éloigner le point bas de la pale du mât.

Au-delà d'une certaine vitesse moyenne de vent, appelée vitesse de coupure, les pales de l'éolienne sont mises en drapeau (dans le lit du vent), ce qui provoque un ralentissement de la vitesse de rotation et finalement l'arrêt du rotor. Pour l'éolienne Alstom Haliade 150 6 MW, cette vitesse de coupure est de 25 m/s (soit 90 km/h).

### 2.2.3 **Système de balisage**

Le balisage des éoliennes et du poste électrique en mer seront en adéquation avec la réglementation en vigueur lors de leur installation et se conformera aux exigences des autorités compétentes en l'absence de réglementation applicable. Une description des moyens de signalisation actuellement envisagés au regard de la réglementation actuellement en vigueur est décrite ci-dessous.

#### 2.2.3.1 *Le balisage aérien*

La réglementation en vigueur pour le balisage aérien est l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif au balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques (NOR: DEVA0917931A).

Cet arrêté prévoit que chaque éolienne du parc doit être signalée par un balisage aérien comprenant :

- Un feu de moyenne intensité de type A positionné sur la nacelle (jour)
- Un feu de moyenne intensité de type B positionné sur la nacelle (nuit)
- Un feu de basse intensité de type B positionné sur le mât (jour et nuit)

Tableau 6 : Caractéristiques des feux de balisage aérien

Nom du feu	Caractéristiques du feu	Période du feu	Portée nominale	Azimut	Localisation sur l'éolienne	Hauteur par rapport au niveau moyen des mers	
Toutes les éoliennes	Feu de moyenne intensité (MI) de type A	Feu à éclats blancs	Jour	16 milles (20000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle	105m environ
Toutes les éoliennes	Feu de moyenne intensité (MI) de type B	Feu à éclats rouges	Nuit	11 milles (2000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle	105m environ
Toutes les éoliennes	Feu de basse intensité (BI) de type B	Feu fixe rouge	Jour et nuit	4 milles (32 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Mât	45m

Source : EOHF, 2013

Le passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit sera réalisé automatiquement selon la luminosité (balisage de nuit lorsqu'elle est inférieure à 50 cd/m<sup>2</sup>).

En cas de défaillance, l'alimentation électrique desservant le balisage lumineux sera remplacée automatiquement par un système de secours (d'une autonomie au moins égale à 120h) dans un délai de 15 secondes.

De plus, le balisage sera télésurveillé : en cas de défaillance ou de simple interruption, l'exploitant le signalera dans les plus brefs délais à l'autorité de l'aviation civile compétente (Direction de l'Aviation Civile Nord, à Orly).

### 2.2.3.2 Le balisage maritime

Deux recommandations de l'AISM (Association Internationale de Signalisation Maritime) sont applicables aux parcs éoliens en mer :

- Recommandation AISM O-139 sur la signalisation des structures artificielles en mer
- Recommandation E-110 sur les caractères rythmiques des feux d'aide à la navigation

En plus des normes internationales, des dispositions particulières peuvent être proposées pour améliorer la visibilité et la signalisation (éclairage, marquage radar actif ou passif, signaux sonores...). Ces dispositions doivent faire l'objet d'un travail en commun entre le maître d'ouvrage et les services de l'Etat.

Au niveau national, le plan de signalisation maritime est soumis pour avis à la Grande Commission Nautique sur proposition de la Préfecture Maritime avant approbation par les autorités. Les dispositifs qui sont mis en œuvre sont portés sur les documents nautiques et signalés par les moyens réglementaires de diffusion de l'information nautique.

Le plan de signalisation maritime, conforme aux deux recommandations de l'AIMS mentionnées précédemment, qui sera soumis à l'avis de la Grande Commission Nautique est le suivant :

- 11 éoliennes signalées avec un balisage maritime SPS (Structure Périphérique Significative – feux jaunes rythmés synchronisés d'une portée d'au moins cinq milles, visibles de toutes les directions) :
  - les 5 éoliennes d'angle (M01 - A07 - A01 – B01– L01),
  - 3 éoliennes sur le côté est du parc (J06- G07 - D08),
  - 2 éoliennes sur le côté ouest du parc (E01 – H01),
  - 1 éolienne sur le côté nord du parc (K01),
- 4 éoliennes signalées avec un balisage maritime intermédiaire (feux jaunes rythmés d'une portée d'au moins deux milles, non synchronisés avec ceux du SPS)
  - 1 éolienne sur le côté sud du parc (A04),
  - 2 éoliennes sur le côté ouest du parc (F01- I01),
  - 1 éolienne sur le côté nord du parc (L03),
- le mât de mesure sera signalisé avec un balisage maritime SPS tant que celui-ci sera en place.

De plus, les fondations seront peintes en jaune, depuis le niveau des plus hautes marées astronomiques (HAT) jusqu'à 15 mètres au-dessus de ce niveau ou jusqu'à celui de l'aide à la navigation (balisage SPS ou intermédiaire), si elles en sont équipées, selon la hauteur qui est la plus grande.

Tableau 7 : Caractéristiques des feux de balisage maritime

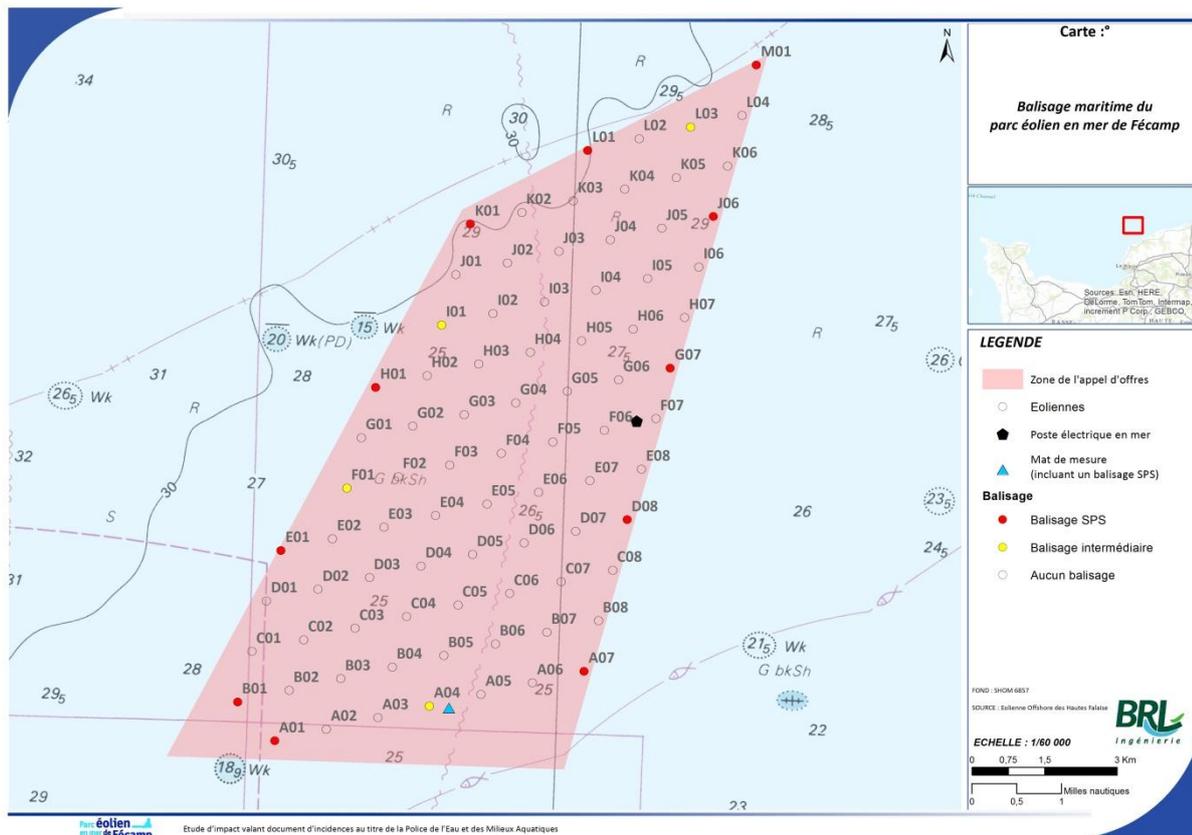
Nom du feu	Caractéristiques du feu	Période du feu	Portée nominale	Azimut	Localisation sur l'éolienne	Hauteur par rapport au PBMA
11 éoliennes et 1 balise SPS sur le mât de mesure	Feu jaune	Jour et nuit	5 milles	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Mât	30 m
4 éoliennes	Feu jaune	Jour et nuit	2 milles	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Mât	23 m

Source : EOHF, 2013

L'arrêté du 13 novembre 2009 prévoit également que le balisage des éoliennes côtières ou installées en mer ne doit pas interférer avec le balisage maritime. Or le balisage aérien est plus présent et plus intense que le balisage maritime. Le maître d'ouvrage a donc sollicité les Directions des affaires maritimes, du transport aérien et de la circulation aérienne militaire pour qu'une réflexion soit menée afin de satisfaire aux besoins de sécurité des navigateurs maritimes et aériens. Un programme d'essai de nouveaux balisages, qui pourrait permettre également de réduire l'impact visuel, est ainsi mis en place en coopération avec les services de l'Etat sur le mât de mesures au large de Fécamp.

Le maître d'ouvrage a sollicité les mêmes autorités s'agissant du balisage à mettre en place au profit des activités spécifiques des hélicoptères de secours ou de travail aérien, qui ne bénéficient pas à ce jour de règle identifiée.

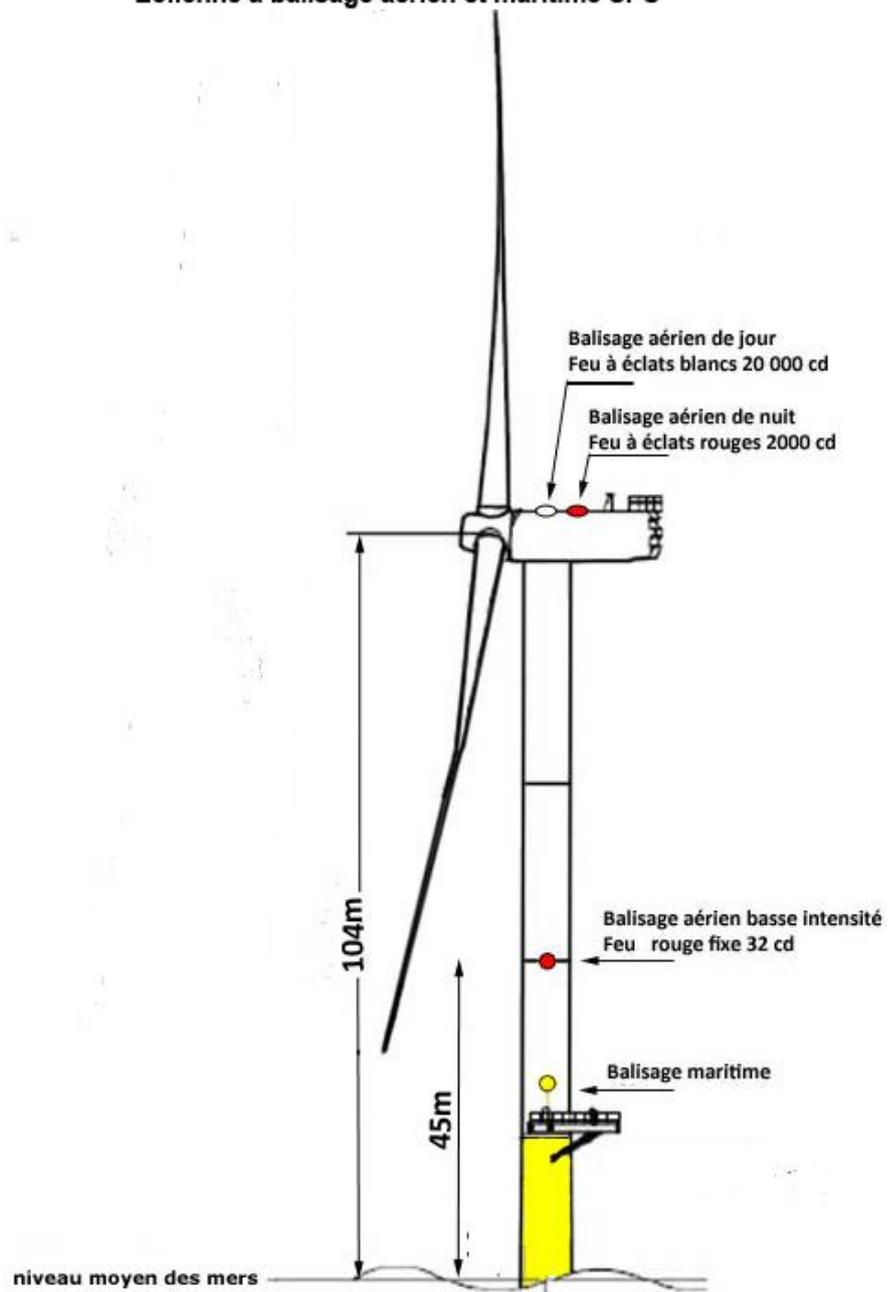
Figure 18 : Plan du balisage maritime du parc éolien en mer de Fécamp



Source : EOHF, 2014

**RECAPITULATIF :**

**Eolienne à balisage aérien et maritime SPS**



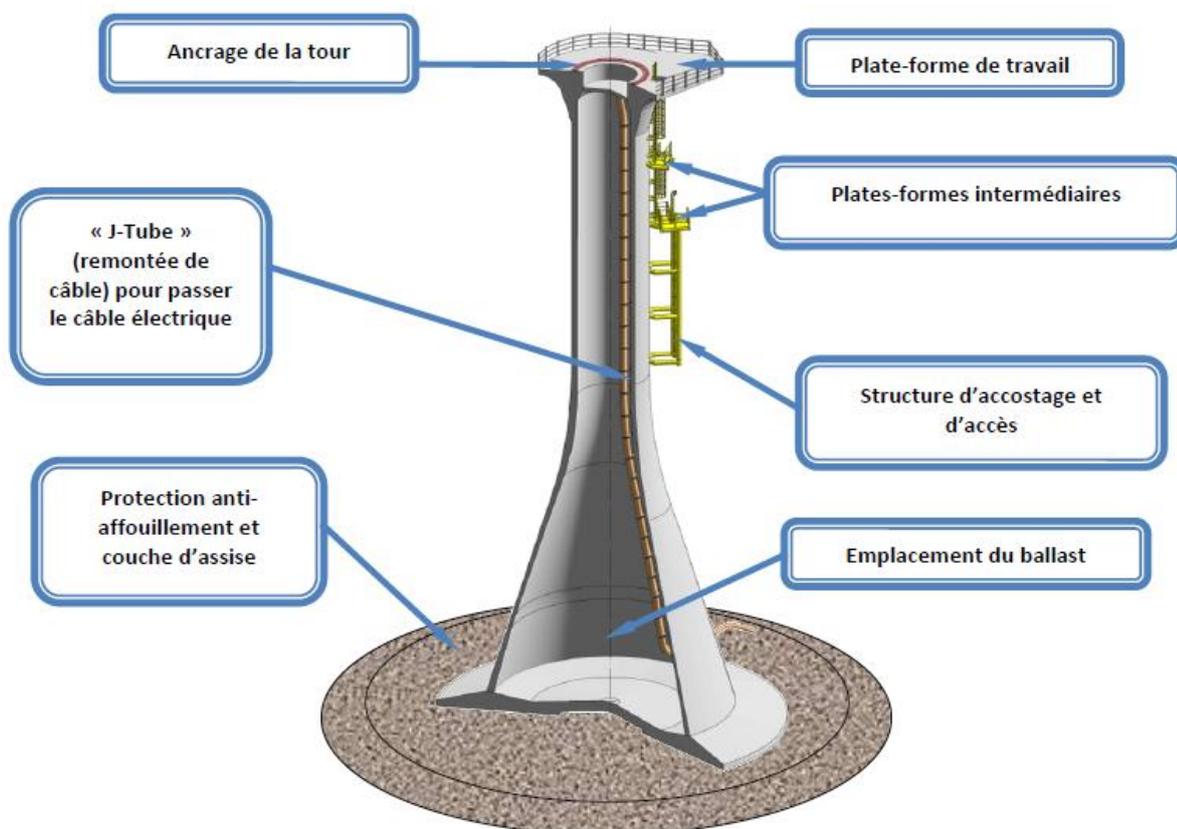
## 2.2.4 Fondations

### 2.2.4.1 Construction

Sur la base des reconnaissances de sol réalisées depuis 2011 (études géophysique et géotechnique notamment), la fondation de type gravitaire a été retenue comme la solution la plus adaptée pour le site de Fécamp :

Le schéma de principe d'une fondation gravitaire est présenté ci-dessous :

Figure 19 : Schéma d'une fondation gravitaire ou GBS



Source : EOHF, 2013

Une structure gravitaire (autrement appelée GBS pour *Gravity Base Structure*) est un ouvrage en béton rempli de matériau de ballastage, mis en place directement sur le sol naturel ou sur une couche de nivellement (couche d'assise) permettant d'assurer la planéité de l'assise.

Une couche de matériaux rocheux pourra être positionnée en périphérie de la structure afin d'assurer une protection anti-affouillement<sup>3</sup> de l'assise.

La taille de chacune des fondations varie en fonction de la zone considérée, en particulier de la bathymétrie rencontrée aux différents endroits. Les dimensions et caractéristiques maximales d'une fondation qui soutiendra une éolienne sont présentées dans le tableau ci-dessous :

<sup>3</sup> Affouillement : Action de creusement due aux remous et aux tourbillons engendrés dans un courant fluvial ou marin butant sur un obstacle naturel (rive concave des méandres) ou artificiel (pile de pont, jetée), ou à l'activité des animaux benthiques

Tableau 8 : Dimension et caractéristiques approximatives maximales de la fondation de type GBS

Structure Béton		Caractéristiques	
Diamètre de l'embase béton		36 mètres	
Diamètre de la section supérieure (hors plateforme)		6,5 mètres	
Hauteur de la structure		50 à 60 mètres en fonction de la bathymétrie	
Poids (sans ballast)		4000 à 6000 tonnes en fonction de la bathymétrie	
Couche d'assise		Caractéristiques	
Epaisseur		2 à 3 mètres en fonction de la configuration du sol	
Matériaux		Enrochements de types différents	
Surface maximale		4 000 m <sup>2</sup>	
Protection anti-affouillement		Caractéristiques	
Diamètre de la protection anti-affouillement		50 mètres	
Epaisseur		1 mètre	
Matériaux		Enrochement 40-80 kg	
Protection anti-salissure (« anti fouling »)		Caractéristiques	
Aucune peinture anti salissure ne sera utilisée sur les fondations			

Source : EOHF, 2013

#### 2.2.4.2 Transport et installation des fondations gravitaires sur site

L'installation de chacune des fondations gravitaires se déroulera selon les phases suivantes :

- Préparation du sol ;
- Transport de la fondation sur le site ;
- Mise en place des fondations sur le fond marin ;
- Mise en place de l'enrochement (protection anti-affouillement).

#### **PREPARATION DU SOL**

La préparation du sol a pour but d'assurer :

- la planéité du sol, nécessaire au bon positionnement et la verticalité de la fondation au moment de l'installation
- un comportement mécanique du sol assurant le maintien de cette verticalité sur l'ensemble de la durée de vie de la fondation.

La préparation du sol est fonction des caractéristiques géotechniques et bathymétriques au droit de la fondation et sera spécifique à chaque fondation.

En base, la préparation du sol consiste en la mise en place d'une couche d'assise à l'aide d'un navire de type « *fall pipe vessel* » (navires spécifiques pour installer des matériaux sur le sol marin). Ce navire déverse à des endroits précis sur le fond, des roches, granulats, etc. La surface au sol à préparer est d'environ 4 000 m<sup>2</sup> par fondation incluant la protection anti-affouillement. Dans ce cas, la durée nécessaire à la préparation du sol pour une fondation est estimée à cinq jours maximum.

Une partie des emplacements des fondations pourrait nécessiter une préparation du sol spécifique car les matériaux en place n'ont pas un comportement mécanique satisfaisant. Cette préparation spécifique repose sur un dragage préalable des matériaux non satisfaisants et le remplacement de ces matériaux par une couche d'assise. Le dragage sera réalisé avec une drague aspiratrice en marche. Pour les fondations où cette option est retenue, la surface au sol concernée par l'opération de dragage sera comprise entre 4 100 m<sup>2</sup> et 6 400 m<sup>2</sup> par fondation pour un volume de dragage pouvant aller au maximum à 15 000 m<sup>3</sup> par fondation. Les sédiments dragués seront déposés dans la concession à environ 300 mètres du lieu de dragage, entre deux alignements d'éoliennes suivant l'axe 255°. Ces dépôts auront une hauteur maximale de 3 mètres et la surface impactée par ces dépôts pourra atteindre 15 500 m<sup>2</sup>. Dans ce cas, la durée nécessaire à la préparation du sol pour une fondation est estimée à huit jours maximum.

## **TRANSPORT DES FONDATIONS SUR LE SITE**

Selon sa conception, la fondation pourra être transportée par flottaison ou semi-flottaison depuis la zone de stockage au port jusqu'au site d'installation. Cependant, afin d'améliorer sa stabilité et sa flottabilité et de faciliter son transport, une structure flottante additionnelle peut être utilisée pendant le remorquage.

Le remorquage pourra être effectué par deux remorqueurs de haute mer : le premier positionné devant la fondation tirera l'attelage, le second sera en secours à l'arrière. Les remorqueurs qui seront utilisés pour ces opérations seront respectivement d'une puissance de 5 000 et 1000 cv. Le remorquage se terminera quand la fondation sera positionnée sommairement au-dessus de sa position au fond de l'eau.

Le transport pourrait également être effectué par un bateau muni de moyens de levage adapté au transport de ce type de structure, comme l'illustre la Figure ci-dessous (à droite).

*Figure 20 : Moyens de transport envisagés d'une fondation gravitaire*



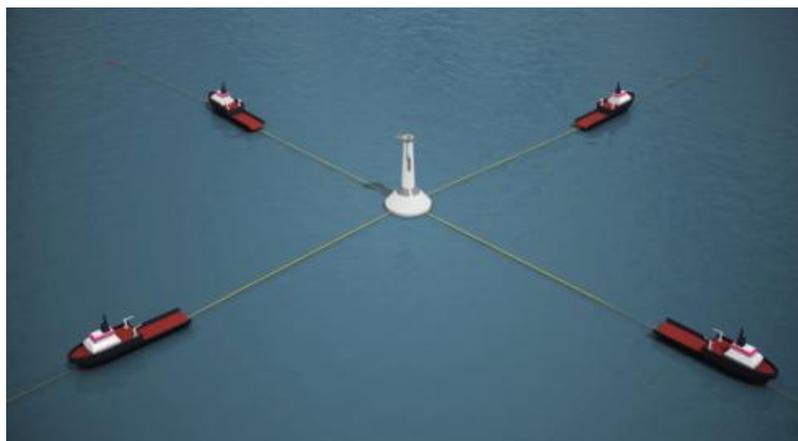
Source : EOHF, 2013

## **MISE EN PLACE DES FONDATIONS SUR LE FOND MARIN**

Dans le cas de l'utilisation d'un navire de levage adapté, la fondation est acheminée sur site, positionnée par le navire et déposée sur l'assise préparée sur le fond marin.

Dans le cas d'un remorquage, une fois la fondation sommairement positionnée en surface par les remorqueurs, ce positionnement est ajusté à l'aide de lignes de mouillage qui sont déployées par un navire léger et qui sont connectées aux lignes d'ancrage préinstallées. La position est ajustée par mise en tension des différentes lignes de mouillage. Une fois la fondation en position, les remorqueurs sont libérés. L'opération de ballastage permet alors de couler la fondation au fond de la mer.

Figure 21 : Positionnement d'une fondation gravitaire



Source : EOHF, 2013

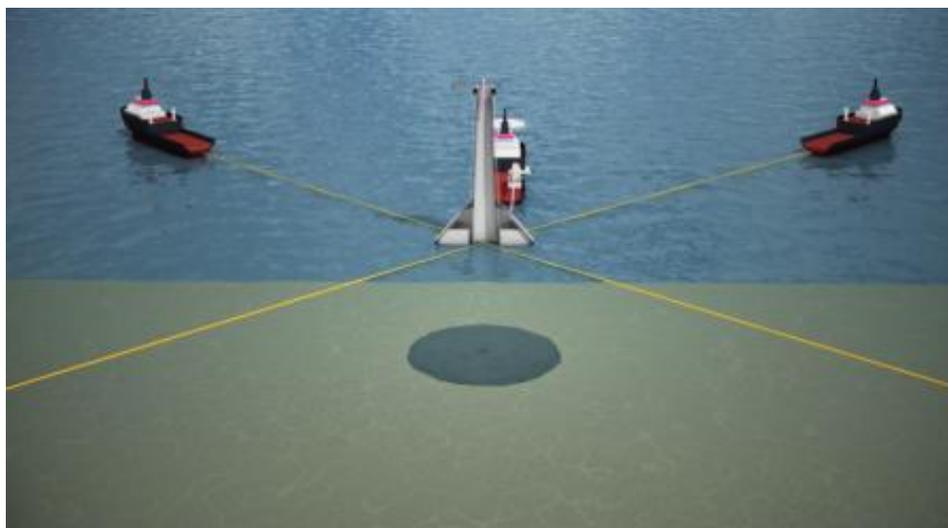
Un navire réalisera ce ballastage qui peut être liquide, solide ou les deux en fonction du design de la fondation.

La descente de la fondation au fond de l'eau est contrôlée par les treuils qui sont fixés sur la structure flottante. Dans le cas sans structure flottante, le contrôle de la descente sera assuré par un ou plusieurs remorqueurs. Des vannes permettent également de contrôler le déroulement de la descente.

L'horizontalité de la fondation est contrôlée après installation. Dans le cas où cette horizontalité est hors tolérance, une pièce de transition peut être rajoutée sur la partie haute de la fondation afin de corriger cette erreur de positionnement. Cette pièce de transition est installée depuis un navire avec une capacité de levage suffisante pour lever cette pièce et la déposer sur le haut de la fondation. Suivant le design de la fondation qui sera retenu, d'autres moyens sont possibles pour ajuster l'horizontalité de la fondation.

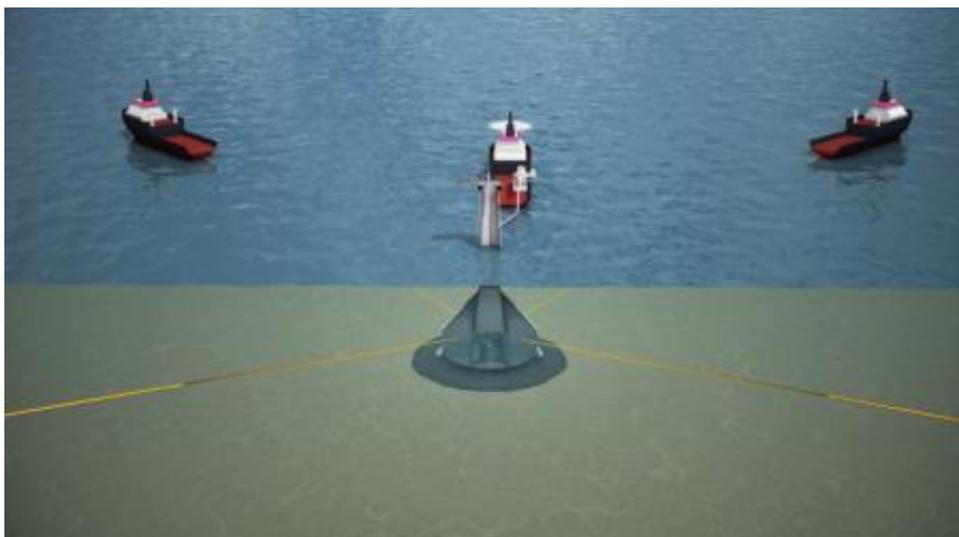
La tolérance d'installation sur ce type d'opération est décimétrique.

Figure 22 : Mise en position d'une fondation gravitaire



Source : EOHF, 2013

Figure 23 : Opération de ballastage d'une fondation gravitaire



Source : EOHF, 2013

### **ENROCHEMENT ET PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT**

L'enrochement et la mise en place de la protection anti-affouillement peuvent être réalisés à l'aide d'un « **fall pipe vessel** » et sont des opérations similaires à la préparation du sol.

Figure 24 : Fall pipe vessel protégeant un croisement de pipe-lines



Source : EOHF, 2013

#### **2.2.4.3 Matériaux utilisés**

Les matériaux utilisés pour ces opérations sont les suivants, en première approximation :

Tableau 9 : Récapitulatif des volumes estimatifs de matériaux utilisés

Type	Unité	Total /GBS	Total projet	Matériau
<b>Béton (total)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>2 200 à 2 300</b>	<b>190 000</b>	<b>Ciment + sable + granulats + adjuvants</b>
<i>Béton (ciment)</i>	<i>t</i>	<i>900</i>	<i>70 000</i>	<i>Ciment</i>
<i>Béton (sable)</i>	<i>t</i>	<i>1 800</i>	<i>150 000</i>	<i>Granulats (sable)</i>
<i>Béton (gravier)</i>	<i>t</i>	<i>2 025</i>	<i>170 000</i>	<i>Granulats (gravier)</i>
<b>Ballastage fondation</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>5 500</b>	<b>460 000</b>	<b>Granulats (gravier+sable)</b>
<b>Matériaux d'assise</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>7 500</b>	<b>620 000</b>	<b>Roche + Granulats</b>
<b>Enrochement (anti-affouillement)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1 700</b>	<b>140 000</b>	<b>Roche</b>
<b>Tout-venant (anti-affouillement)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>2 600</b>	<b>220 000</b>	<b>Roche + Granulats</b>

Source : EOHF, 2013

Un poste de chargement sera mis en place pour charger ces matériaux sur les navires.

Ces matériaux seront issus d'exploitations autorisées :

- Matériaux d'assise : carrières terrestres, granulats marins, ...
- Le ballast :
  - Sable : carrières terrestres, granulats marins, lits de rivières,
  - Olivine (alternative) : carrières en Norvège
- Les enrochements : carrières terrestres

## 2.2.5 Poste de transformation en mer

### 2.2.5.1 Construction, livraison et assemblage

Le parc éolien en mer de Fécamp sera raccordé au réseau public de transport d'électricité français géré par RTE au niveau de deux points de livraison regroupés dans un unique poste électrique en mer. Ce poste électrique comprend les équipements de transformation permettant d'élever le niveau de tension, et de comptage de l'énergie délivrée par les éoliennes.

Photo 3 : Poste électrique en mer du parc éolien Dong Energy de Walney



Source : EOHF, 2013

## CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Les fonctions électriques remplies par le poste électrique en mer sont les suivantes :

- élever la tension ;
- protéger le parc éolien du réseau terrestre ;

- assurer le comptage de l'énergie produite ;
- contrôler et superviser le parc.

La fonction principale du poste électrique en mer est d'élever la tension du courant produit par les éoliennes (en HTA, 33-34 kV) pour son transport jusqu'au réseau terrestre (en HTB, 225kV). Cette fonction est réalisée par 2 transformateurs de puissance permettant d'élever la tension du courant généré par les éoliennes d'un niveau moyenne tension à un niveau haute tension avant de le faire transiter par 2 câbles sous-marins jusqu'au réseau RTE. Le dimensionnement, l'approvisionnement, l'installation et l'exploitation de ces 2 câbles sous-marins seront réalisés par RTE. Les transformateurs sont dimensionnés en adéquation avec la puissance totale de la sous-station, soit environ 280 MVA chacun.

Le système électrique principal comprend quatre jeux de barres à moyenne tension (33-34 kV) reliant les câbles issus des éoliennes aux deux transformateurs à double enroulement ; chacun de ces jeux de barres reçoit une puissance nominale d'environ 140 MVA.

Le poste comprend également deux cellules à haute tension (225 kV) pour la connexion des liaisons de raccordement RTE. L'interface avec le réseau public de transport d'électricité est située au niveau des têtes de câbles RTE situées sur le poste électrique.

En plus d'élever la tension le poste électrique en mer a pour rôle d'isoler, de protéger et de mettre en sécurité le parc éolien du réseau terrestre. Ces fonctions sont assurées par deux tableaux principaux (TP) en HTA et HTB.

Les deux TP sont constitués de plusieurs composants qui leur permettent d'assurer les fonctions suivantes :

- Protection, réalisée par les disjoncteurs ;
- Isolement, réalisé par les sectionneurs ;
- Mise en Sécurité, réalisée par la mise à la terre ;
- Protection contre la foudre, réalisée par les parafoudres ;
- Mesures du courant et de la tension, réalisées par les transformateurs de courant et de tension.

Les TPHTB, plus communément appelé GIS, isolent le poste électrique en mer du réseau terrestre. Les TPHTA pour leur part isolent le parc éolien du poste électrique en mer. La sécurité du réseau HTA est aussi réalisée par la mise à la terre (création de neutres artificiels) à l'aide de transformateurs de mise à la terre.

Le contrôle et la supervision du parc éolien sont réalisés par l'intermédiaire d'un système de contrôle-commande installé au sein de la plate-forme et piloté depuis la terre. Les armoires de contrôle-commande, de protection et de supervision des différents équipements du poste électrique en mer sont situées dans la salle de contrôle. Au même étage, on trouve aussi le contrôle-commande des éoliennes (SCADA éolien), les compteurs électriques, ainsi que la gestion de la production du parc.

Les caractéristiques des équipements électriques principaux à ce stade du projet sont les suivantes :

Tableau 10 : Caractéristiques des équipements électriques principaux à ce stade du projet

Équipement	Nombre	Masse unitaire (tonnes)	Dimensions (m) (Longueur x largeur x hauteur)
Transformateur HTA/HTB 280MVA	2	280	8 x 5 x 8,5
GIS HTB (2 travées) 225kV	2	21	6 x 6 x 3,5
Demi-tableau TPHTA 33kV	4	10	6,4 x 1,7 x 3
Transformateur Auxiliaire	2	6	3 x 2,5 x 3
Transformateur de Mise à la terre	2	6	3 x 2,5 x 3

Source : EOHF, 2014

## CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Le poste se compose d'une plate-forme de trois à cinq étages et d'une structure de fondation. La plate-forme, intégrant les équipements électriques, pèse entre 2 000 et 2 400 tonnes. La structure de fondation représente 1 500 tonnes d'acier (pieux inclus) dans le cas d'une fondation jacket et 5 000 à 6000 tonnes dans le cas d'une fondation gravitaire.

Il est envisagé d'installer le poste électrique en mer sur une fondation jacket, ce qui constitue une solution de référence dans l'industrie de l'éolien en mer pour les postes de cette taille.

L'alternative serait d'implanter le poste de transformation en mer sur une fondation gravitaire. Le choix de la technologie de fondation sera réalisé en lien avec le fournisseur du poste électrique, une fois celui-ci sélectionné. La présente étude d'impact étant réalisée dans le cas péjorant d'une fondation jacket ou gravitaire selon les sujets.

La plate-forme mesure approximativement 20 mètres de haut, 40 mètres de long et 25 mètres de large, sans tenir compte des chemins de ronde et autres équipements mineurs. Elle est construite sur 3 à 5 niveaux selon l'option retenue pour l'intégration de l'arrivée des câbles sous-marins. En effet le pont de câblage ou « cable deck », qui constitue l'interface entre la fondation et la plate-forme, peut être intégré soit dans la partie supérieure de la fondation soit dans le niveau inférieur de la plate-forme. De bas en haut les 3 niveaux supérieurs du poste électrique en mer sont les suivants : le pont principal sur lequel reposent les transformateurs et les principaux équipements électriques de puissance, le pont mezzanine où l'on trouve les salles de contrôles et enfin le pont supérieur.

La structure métallique fermée est conçue pour une durée de vie d'environ 30 ans selon des solutions déjà éprouvées sur des installations similaires.

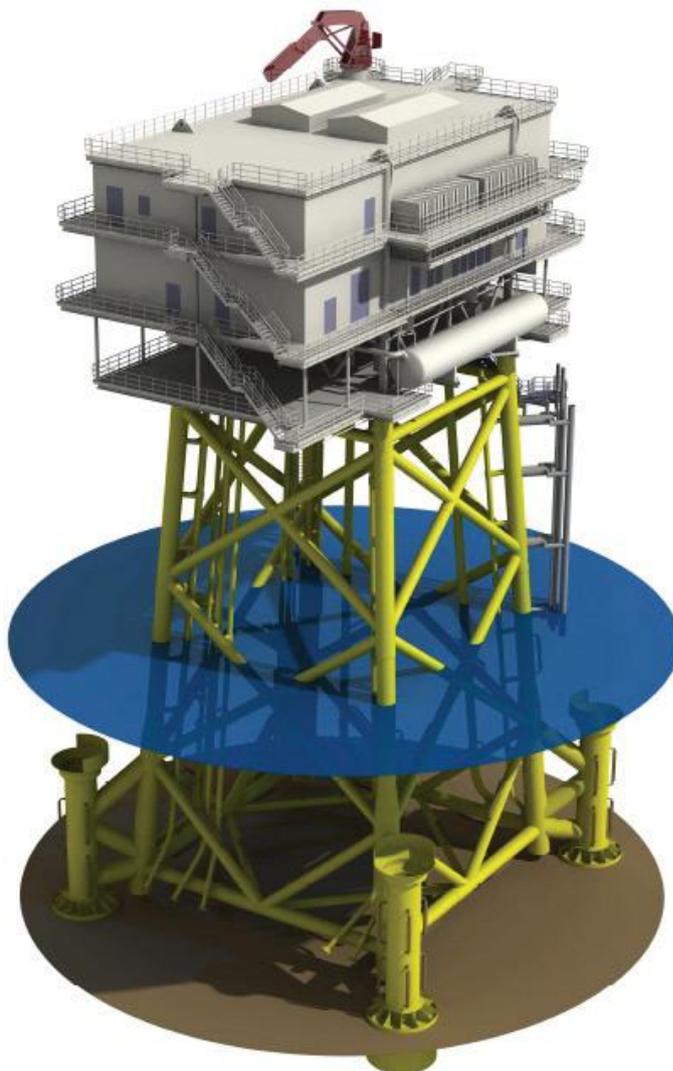
Les caractéristiques physiques préliminaires du poste sont donc les suivantes :

Tableau 11 : Caractéristiques physiques préliminaires du poste

Composant		Dimensions	Masse
Plate-forme		En excluant la grue et les coursives : HxLxl : 20 m x 40 m x 25 m	2 000 -
		En incluant la grue et les coursives : HxLxl : 30 m x 45 m x 30 m	2400 t
Fondation	Option 1 : jacket (pieux inclus)	Interface fondation/plate-forme (cable deck) : 25.0m/CM	1500 t
	Option 2 : gravitaire		5 000 - 6 000 t

Source : EOHF, 2013

Figure 25 : Représentation possible d'un poste électrique en mer sur fondation de type Jacket



Source : EOHF, 2013

## **EQUIPEMENTS**

Cette installation est conçue pour fonctionner de manière autonome (sans présence de personnel sur la structure). Une interface utilisateur est présente dans la salle de contrôle mais la supervision du parc éolien et de la sous-station s'effectue depuis la terre. La plate-forme n'est pour cette raison pas considérée comme habitée.

La plate-forme est pourvue des appareils mécaniques nécessaires à l'exploitation, la maintenance et l'entretien tels qu'une grue extérieure.

La grue située à l'extérieur de la plate-forme assure le chargement et déchargement des équipements sur les navires. Elle doit être capable de charger et décharger les différents éléments sur le pont extérieur ainsi que sur l'aire d'entreposage qui pourrait se situer au niveau du pont principal. Son dimensionnement découle de la maintenance prévue sur la plate-forme.

Le poste est équipé de systèmes divers pour l'information, la communication, la surveillance à distance et le contrôle des paramètres de fonctionnement. Le poste est également signalé par un balisage conforme aux réglementations de l'aviation civile et de la navigation maritime.

Ce poste de livraison en mer nécessite des systèmes auxiliaires d'alimentation pour assurer la prévention et l'extinction des incendies, les alimentations de secours en cas de coupure du réseau public de transport d'électricité, la supervision et le contrôle-commande de l'installation mais également le comptage. Ces systèmes auxiliaires d'alimentation sont conçus de telle sorte qu'une liaison de raccordement puisse défaillir à tout moment sans entraîner de dysfonctionnement, l'alimentation étant assurée par un groupe électrogène. Cependant cette éventualité est peu probable car le poste électrique en mer sera relié au réseau public de transport d'électricité par 2 câbles sous marins, ce qui garantit une redondance au niveau de son alimentation électrique.

## **ACCES**

L'accès principal s'effectue par bateau à l'aide d'une des deux structures d'accostage accrochées à la fondation. Escaliers, couloirs et échappées sont prévus pour répondre aux normes d'évacuation en cas d'incendie.

La plate-forme est équipée de moyens d'évacuation de secours maritimes, conformément aux standards reconnus. Un espace de survie est aménagé pour accueillir les équipes d'intervention, en cas de conditions météo-océaniques défavorables les empêchant de quitter le poste en toute sécurité.

Une zone d'hélicoptère est prévue sur le dernier pont de la plate-forme conformément aux lois applicables et aux standards reconnus.

## **POLLUTION**

L'installation, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention est conforme aux pratiques du secteur de l'offshore.

Elle embarque un groupe électrogène avec une réserve de carburant pour au moins quatorze jours. Les systèmes automatiques d'extinction des incendies sont de type gaz inertes (Argonite, Argogène ou équivalent) ou combinaison de brouillard d'eau et de mousse à air comprimé selon le compartiment de la plate-forme.

Tous les équipements principaux et auxiliaires sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs assurant une surveillance 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Aucune peinture anti salissure (anti-fouling) n'est envisagée sur la station en mer ou sa fondation

Les volumes de liquides présents sur le poste de livraison et capacité de stockage à ce stade de sa conception sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 12 : Récapitulatif des volumes attendus dans le poste à ce stade de conception**

Volume des caisses dimensionnées à ce stade :	
Caisse d'égoutture des transformateurs	200 m <sup>3</sup>
Caisse de décantation des transformateurs	40 m <sup>3</sup>
Caisse des eaux usées	20 m <sup>3</sup>
Caisse d'eau incendie	20 m <sup>3</sup>
Caisse MGO (Marine Gas Oil) pour le groupe électrogène diesel	40 m <sup>3</sup>
Caisse d'eau douce sanitaire	20 m <sup>3</sup>

Source : EOHF, 2013

Les différentes caisses sont ravitaillées (fuel, eau sanitaire, eau pour la lutte incendie) ou vidées (caisse d'égoutture, eaux usées) par des navires d'approvisionnement. L'interface entre les réseaux et le navire se fait grâce à une station de ravitaillement située sur la fondation ou par l'intermédiaire de bidons à double fond manipulés par la grue extérieure.

Le maître d'ouvrage impose à ses fournisseurs de respecter des standards de conception. En particulier, les postes électriques en mer vont être conçues suivant le standard DnV-OS-J201 : Offshore Substations for Wind Farms pour les parties structure et sécurité.

Les moyens suivants sont notamment prévus :

- Les carburants seront stockés dans des cuves à double paroi ;
- Les salles et ponts abritant des équipements susceptibles de fuites sont équipés d'un système de drainage et de cuves de rétention. En cas de déversement accidentel de liquide au niveau d'un équipement, le système de drainage récupère le produit déversé et le conduit dans un réservoir de rétention. Celui-ci est dimensionné pour correspondre au volume majoré de 10% minimum de l'appareil qui contient le plus gros volume de liquide de la plateforme. Le liquide déversé accidentellement est récupéré au niveau du réservoir de rétention et renvoyé vers des filières d'élimination agréées à terre ;
- L'ensemble des équipements électrique sera situé dans des bâtiments fermés et n'est donc pas atteints par les eaux pluviales, évitant tout ruissellement d'eau de pluie potentiellement souillée ;
- Les seuls équipements en extérieur qui Pourraient être en contact avec les eaux de pluie (radiateurs des transformateurs, grue hydraulique) sont dotés d'un système de collecte et d'évacuation des eaux pluviales muni d'un séparateur hydrocarbure (objectif de rejet 5 mg/l) avant rejet en mer. La pluie tombant sur les autres zones n'ayant pas la possibilité d'être souillées est directement rejetée à la mer.

## **2.2.5.2 Transport et installation**

### **PLATEFORME DU POSTE ELECTRIQUE**

La plateforme du poste électrique sera transportée en mer par une ou plusieurs barges jusqu'au site d'installation où elle sera installée soit par une barge auto-élévatrice soit par un bateau grue adapté.

### **CAS D'UNE FONDATION JACKET**

La fondation jacket du poste électrique et les 4 à 8 pieux associés seront transportés en mer par une ou plusieurs barges ou par un bateau grue, jusqu'au site où le navire d'installation sera prêt à réaliser l'installation.

Une fois la barge positionnée le long du navire d'installation, le pieu, d'un diamètre de 1,5 à 3 m, est levé du pont de la barge à l'aide de la grue du navire, mis en position le long du navire dans un guide puis descendu jusqu'à toucher le fond de l'eau. Le pieu pénètre dans le sol sous son poids propre.

Le marteau hydraulique est alors mis en position au-dessus du pieu et le battage du pieu peut commencer. Le pieu est battu jusqu'à la profondeur désirée ou jusqu'à la profondeur de refus (sol trop dur).

Si le pieu atteint la profondeur de refus avant la profondeur désirée, des équipements de forage au sommet du pieu sont installés afin d'arriver à la profondeur désirée par forage. Le diamètre de forage est dans ce cas légèrement inférieur au diamètre du pieu. Généralement le forage s'effectue à l'eau de mer et un système de circulation inverse est utilisé pour ramener les débris de forage. Les débris, de taille millimétrique à centimétrique sont redéposés à la mer près de la plate-forme.

Une fois le forage terminé, le pieu est battu jusqu'à la profondeur requise, l'anneau de roche sous le pieu étant alors cassé lors du battage. Si la roche est très fracturée, la longueur des passes est réduite afin d'éviter que les parois du trou ne s'effondrent entre le forage et le fonçage du pieu.

Dans des cas très particuliers où la reprise de battage n'est pas possible (roche très dure ou très fracturée afin que le pieu puisse « suivre » la tête de forage), une tête de forage équipée de molettes escamotables peut forer sous le pieu (méthode dite d'« underreaming »), avec un diamètre égal au diamètre externe du pieu. Des précautions doivent cependant être prises pour s'assurer que le pieu conserve alors suffisamment de rigidité latérale. Suivant la technique de forage employée, l'utilisation d'un mortier pour figer le pieu peut être nécessaire, un volume maximal de l'ordre 50 m<sup>3</sup> pourrait alors être nécessaire.

Suivant la technique employée et le sol rencontré, les pieux pourront être enfoncés à une profondeur allant de 40 à 80 mètres. La durée des travaux sur site nécessaires à l'installation du jacket sera comprise entre 48 et 72 heures.

Une fois les pieux en place au fond de l'eau, le jacket est positionné sur les pieux. Le jacket est levé depuis le navire d'installation puis posé sur les pieux au fond de l'eau. La connexion entre le jacket et les pieux est réalisée par cimentation au niveau des interfaces pieux/jacket.

Une fois le jacket en place, vient l'installation de la plateforme. Elle est levée puis posée sur le jacket par la grue du navire d'installation. La connexion entre la plateforme et le jacket est réalisée par soudure ou ciment.

En cas de besoin des protections anti-affouillement seront disposées autour des pieux, sur une largeur de 5 mètres environ.

### **CAS D'UNE FONDATION GRAVITAIRE**

Dans le cas où la fondation est une fondation gravitaire, l'installation va se dérouler suivant les mêmes conditions que celles des éoliennes, décrites précédemment à savoir :

- Préparation du sol ;
- Remorquage de la fondation sur le site ;
- Mise en position de la fondation sur le fond marin ;
- Ballastage de la fondation ;
- Enrochement et protection anti-affouillement de la fondation.

## **2.2.6 Câbles électriques inter-éoliennes**

### **2.2.6.1 Conception**

Le réseau électrique inter-éoliennes du parc a pour rôle de relier électriquement les aérogénérateurs à un poste de livraison unique par l'intermédiaire de câbles sous-marins. Afin d'optimiser de limiter l'impact environnemental les coûts et les délais liés à l'installation des câbles, les éoliennes sont reliées au poste électrique par grappes. Les 83 éoliennes de 6 MW (pour une puissance totale de 498 MW) sont raccordées suivant 14 grappes. Chaque grappe comprend 2 à 7 aérogénérateurs, compte tenu de la capacité maximale des câbles et de la tension de sortie de la turbine (33-34 kV). Les éoliennes d'une même grappe sont reliées entre elles par des câbles inter-éoliennes (tension 33-34 kV en courant alternatif). Chaque grappe d'éoliennes est reliée au poste électrique. Compte tenu du schéma de raccordement, le nombre de raccordements électriques des câbles inter-éoliennes à effectuer sera de 166.

Le cheminement des câbles entre les aérogénérateurs a été conçu de manière radiale et les aérogénérateurs seront reliés à l'aide de câbles adaptés au niveau de tension de sortie de la turbine (33-34 kV).

Plusieurs dimensions de câbles peuvent être utilisées en fonction du nombre d'aérogénérateurs qu'ils doivent relier et du matériau sélectionné pour l'âme des conducteurs. Ainsi, le dimensionnement préliminaire des câbles soumis à confirmation suite aux investigations géophysiques et géotechniques prévoit d'utiliser deux sections différentes pour les âmes des conducteurs, à savoir 240 mm<sup>2</sup> Cu ou 400 mm<sup>2</sup> Al, d'une part, et 630 mm<sup>2</sup> Cu, d'autre part, ce qui correspond à un diamètre extérieur du câble compris entre environ 11cm et 15cm et pour un poids d'environ 20 à 40 kg par mètre dans l'air.

La longueur minimale de câble nécessaire à la connexion de l'ensemble des aérogénérateurs est d'environ 134 km de câbles réparti en 76 kilomètres de câbles de section 240 mm<sup>2</sup> Cu ou 400 mm<sup>2</sup> Al et environ 58 kilomètres de câbles de section 630 mm<sup>2</sup> Cu. Etant donné la distance d'environ 100m nécessaire aux remontées de câbles dans chaque éolienne et dans le poste électrique, la longueur en interface avec le sol sera de 117km.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des différents types de câble utilisés sur le projet :

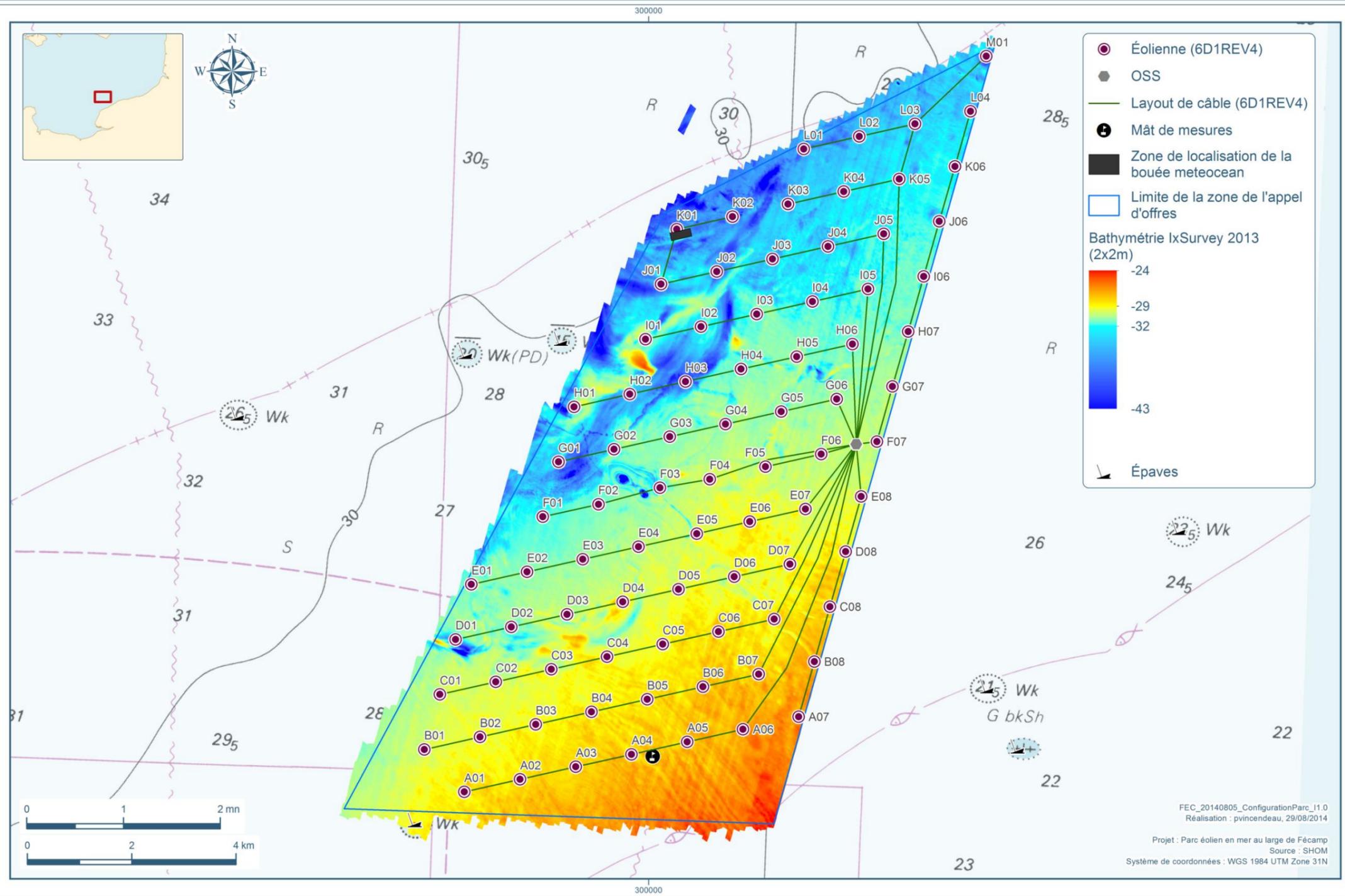
Tableau 13 : Caractéristiques indicatives des différents câbles électriques envisagés

Longueur totale utilisée	Section de l'âme des conducteurs	Matériau de l'âme des conducteurs	Nombre de câbles	Diamètre extérieur	Masse linéique	
76 km	Option 1	240 mm <sup>2</sup> (1)	Cu	54	11 cm	20 kg/m
	Option 2	400 mm <sup>2</sup> (1)	Al	54	13 cm	20 kg/m
58 km		630 mm <sup>2</sup>	Cu	29	15 cm	40 kg/m

Source : EOHF, 2013

Chaque câble est constitué de trois conducteurs composés chacun d'une âme en aluminium ou en cuivre, gainée par un matériau hautement isolant, le polyéthylène réticulé (une alternative existe avec l'éthylène-propylène), permettant une utilisation jusqu'à un niveau de tension de 36kV. Une armure extérieure constituée notamment d'une tresse en acier galvanisé, servant à protéger le câble, regroupe les trois conducteurs et un faisceau de fibres optiques pour former un câble d'un seul tenant.

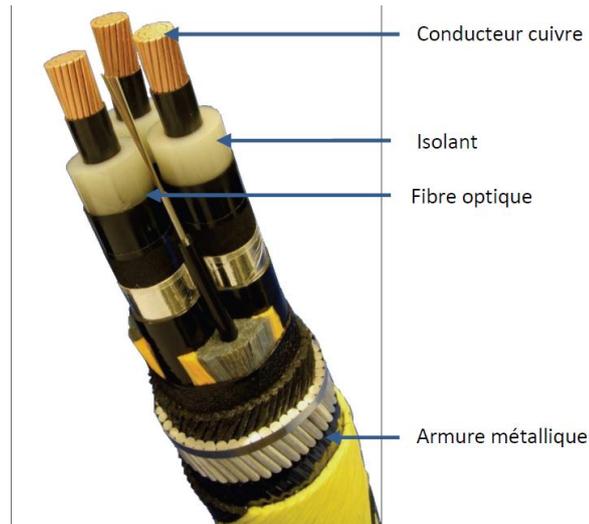
Les fibres optiques permettent de créer un réseau de communication entre les éoliennes et le poste électrique.



Carte 4 : Cheminement préliminaire des câbles électriques



Photo 4 : Illustration d'un câble sous-marin inter-éolien.



Source : Draka, 2011

### 2.2.6.2 Installation

Selon la méthode d'installation retenue et la logistique associée, il existe plusieurs alternatives pour le transport des câbles, même si ce dernier s'effectue toujours par voie maritime ou fluviale.

Les deux grands types d'installation sont :

- L'installation des câbles électriques inter-éoliennes à partir d'un navire câblé avec une grosse capacité de chargement (cuve fixe ou carrousel) ;
- L'installation des câbles électriques inter-éoliennes à partir de tourets chargés sur le navire.

Dans la première option, le navire peut transporter plusieurs dizaines de kilomètres de câbles. Le navire peut ainsi charger directement une grande longueur de câble d'un seul tenant dans son carrousel au quai de l'usine de fabrication. Il transite ensuite directement jusqu'au site de la future installation éolienne en mer afin de débiter l'installation. Si la capacité de chargement du bateau n'est pas assez importante pour charger toute la longueur de câble et qu'un second voyage est requis, le navire retournera charger la longueur restante de câble à l'usine. En considérant la longueur et la masse linéaire des câbles envisagés à ce jour, il ne devrait pas être nécessaire d'effectuer plus de deux voyages.

Pour la seconde option – câbles sur tourets – la méthode généralement employée est assez différente. Chaque touret peut stocker jusqu'à un ou deux câbles inter-éoliennes. Le navire ou la barge d'installation ne chargera que quelques tourets à la fois. Cette approche requiert une logistique différente: les tourets seront d'abord transportés du quai de l'usine jusqu'à une aire de stockage près de la base logistique du projet. C'est à partir de cette aire de stockage que le navire vient charger de nouveaux câbles pour les installer. Le navire fera ainsi plus d'allers et retours entre le site et la base logistique, mais sur des distances plus courtes.

L'installation des câbles électriques inter éoliens s'effectue en trois opérations différentes :

- Le tirage du câble jusqu'au sommet de la fondation ;
- La pose du câble sur le fond marin entre deux éoliennes ;
- La protection du câble.

Ces activités peuvent être menées à partir du même navire, voire en parallèle (pour la pose et la protection) selon la méthode d'installation retenue. Elles peuvent être également dissociées dans le temps.

Sur la base des données et des études disponibles à ce jour, l'ensouillage des câbles électriques sur le site de Fécamp devrait nécessiter deux méthodes d'installation et protection différentes : l'ensouillage et la protection externe (enrochement, matelas de béton ou similaire).

Suivant le type de couverture sédimentaire (sol crayeux ou surface recouverte de graviers), les différentes méthodes d'ensouillage envisageables sont les suivantes :

- Charrue
- Système hydro jet (communément appelés « Jetting machine »)
- Trancheuse mécanique à chenille

En l'état actuel des connaissances, il est estimé qu'il sera possible d'ensouiller environ 75% de la longueur totale des routes de câbles et d'installer une protection externe sur les 25% restants. A noter que les zones pour lesquelles une protection externe est prévue se concentrent principalement aux abords de la station électrique en mer (les arrivées de câbles étant plus difficiles à traiter dans cette zone) et aux abords des fondations, pour gérer les arrivées et départs des câbles.

### **2.2.6.3 Travaux complémentaires**

Quelques opérations supplémentaires viennent s'ajouter à celles précédemment décrites:

- Contrôle : Après la pose du câble et après l'ensouillage de ce dernier (si l'ensouillage est décalé par rapport à la pose) la route de câble est reconnue, généralement au moyen d'une bathymétrie multifaisceaux ;
- Protection à la fin des J-tubes : La longueur de câble sortant du J-Tube jusqu'à ce qu'il soit ensouillé nécessite une protection externe (enrochement, matelas béton ou demie coquille en métal). Cela ne concerne que quelques dizaines de mètres par extrémité de câbles ;
- Protection corrective : Là où la profondeur cible d'ensouillage (définie en fonction des caractéristiques de sol pour assurer la sécurité des installations) n'aura pas pu être atteinte, des matériaux (enrochement) ou des matelas béton pourront être déposés au droit du câble pour parfaire sa protection. Il est à noter que les matelas béton n'ont jamais été installés sur des distances supérieures à quelques centaines de mètres, ce qui rend improbable cette solution à grande échelle ;
- Terminaisons : Les terminaisons de câbles sont les actions qui consistent à connecter le câble à sa boîte de jonction et sont réalisées à la fin de la séquence d'installation décrite jusqu'ici,
- Mise en service : Plusieurs tests sont effectués pour mettre en service le câble dont des tests de continuité électrique ainsi que des tests sur la fibre optique

## 2.2.7 Exploitation et maintenance

### 2.2.7.1 Activités de maintenance sur site

Les opérations de maintenance sont divisées en deux grandes catégories : la maintenance courante et la maintenance lourde.

#### MAINTENANCE COURANTE

La maintenance courante regroupe les activités de maintenance préventive (entretien) et corrective (dépannages) qui sont réalisées par les équipes de la base de maintenance.

#### **MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS EMERGES**

La maintenance préventive de périodicité annuelle requiert une intervention de plusieurs jours par éolienne, impliquant une activité quasi continue tout au long de l'année tandis que la maintenance corrective est par nature de périodicité et de durée indéfinies.

Les matériels à entretenir sont les éoliennes, les matériels auxiliaires localisés sur la fondation (entretien et dépannage de la grue et des dispositifs de refroidissement), la fondation (protection anticorrosion peinture et anodes, nettoyage des échelles) ainsi que le poste électrique (entretien des structures, entretien et dépannage des matériels électriques, entretien et dépannage des matériels auxiliaires).

**Les techniciens sont basés à terre et transférés quotidiennement sur le parc si les conditions météorologiques le permettent, soit par bateau soit par hélicoptère.** Les opérations de maintenance courante ont essentiellement lieu de jour, avec éventuellement quelques débordements sur les heures de nuit en hiver ou pour certaines interventions exceptionnelles. Les navires de transfert opèrent depuis la base portuaire de Fécamp tandis que l'hélicoptère opère depuis une base aéroportuaire et éventuellement une hélisurface encore à définir.

Le matériel est généralement transporté sur site depuis la base de maintenance: pièce détachées (jusqu'à 2 tonnes environ), outillages et consommables incluant lubrifiants, liquides de nettoyage, de refroidissement, peinture, etc.

#### **INSPECTION DES EQUIPEMENTS SOUS-MARINS:**

Des inspections sous-marines sont effectuées par des navires de reconnaissance pour contrôler l'état de la protection anti-affouillement des fondations, de la protection et de l'ensouillement des câbles. L'intervention de plongeurs n'est prévue que de manière absolument exceptionnelle : les interventions depuis la surface ou le cas échéant l'intervention de ROV (engins sous-marins commandés à distance) étant privilégiées.

**Initialement, les inspections seront effectuées tous les un à deux ans. Elles pourront ensuite être moins fréquentes en fonction des résultats des inspections initiales.**

#### MAINTENANCE LOURDE

La maintenance lourde regroupe les activités qui nécessitent l'intervention de moyens maritimes spéciaux. Elle regroupe donc les remplacements de composants majeurs sur les turbines avec intervention de moyens de levage lourds, les remplacements de composants lourds sur le poste électrique en mer (en principe peu fréquents) et les éventuelles interventions sous-marines sur la protection anti-affouillement, les câbles ou leur protection.

Les moyens logistiques mis en œuvre sont principalement des navires ou barges auto-élévatrices disposant de moyens de levage lourds, des navires d'approvisionnement, des barges pour le transport de colis lourds et les moyens associés aux opérations de pose de câbles.

La logistique lourde est en principe déployée depuis un grand port, à l'exception éventuelle de certains transferts de personnels qui peuvent être effectués depuis la base de maintenance, générant un accroissement ponctuel du trafic de navires de transfert entre le port de Fécamp et le parc. Les opérations de maintenance lourde se déroulent en continu de nuit et de jour lorsque les conditions météorologiques le permettent.

La maintenance lourde est essentiellement de nature corrective, et la périodicité de ces opérations n'est pas définie. Dans le but de définir l'impact maximal, on peut considérer qu'une avarie exceptionnelle frappant plus de 50% des éoliennes dans la même année mobiliserait un navire de maintenance lourde pendant environ 200 jours sur cette même année.

## **MOYENS LOGISTIQUES POUR LA MAINTENANCE COURANTE**

### **LES NAVIRES**

Deux à trois navires lors des pics d'activités en été seront nécessaires pour les déplacements des techniciens chargés des opérations d'exploitation et maintenance sur les éoliennes et le poste électrique en mer. Ces navires pourront également être utilisés pour le transport des techniciens lors de la construction du parc.

Les navires seront des catamarans ou monocoques d'une vingtaine à une trentaine de mètres de longueur hors-tout et permettront le transport de 12 passagers (4 équipes de 3 techniciens) à une vitesse de croisière supérieure à 20 nœuds en fonction des conditions de mer. Ils seront basés dans le port de Fécamp, près de la base de maintenance.

Le centre du parc étant situé à environ 17 kilomètres du port, moins d'une heure sera nécessaire pour atteindre le parc.

Les bateaux pourront naviguer par tout type de temps. Par contre, les conditions météorologiques devront être telles qu'elles permettent un transfert sûr des techniciens sur les éoliennes ou la sous-station électrique en mer.

Les étraves des navires seront équipées de défenses permettant le transfert direct des techniciens sur l'échelle du système d'accostage. Les conditions météorologiques devront permettre un transfert sûr des techniciens sur les éoliennes ou le poste électrique en mer.

Les navires disposeront d'une surface permanente sur le pont à l'avant du navire pour du matériel nécessaire aux opérations de maintenance. Les grues sur les plateformes seront utilisées pour transférer le matériel depuis le pont des navires sur ces plateformes.

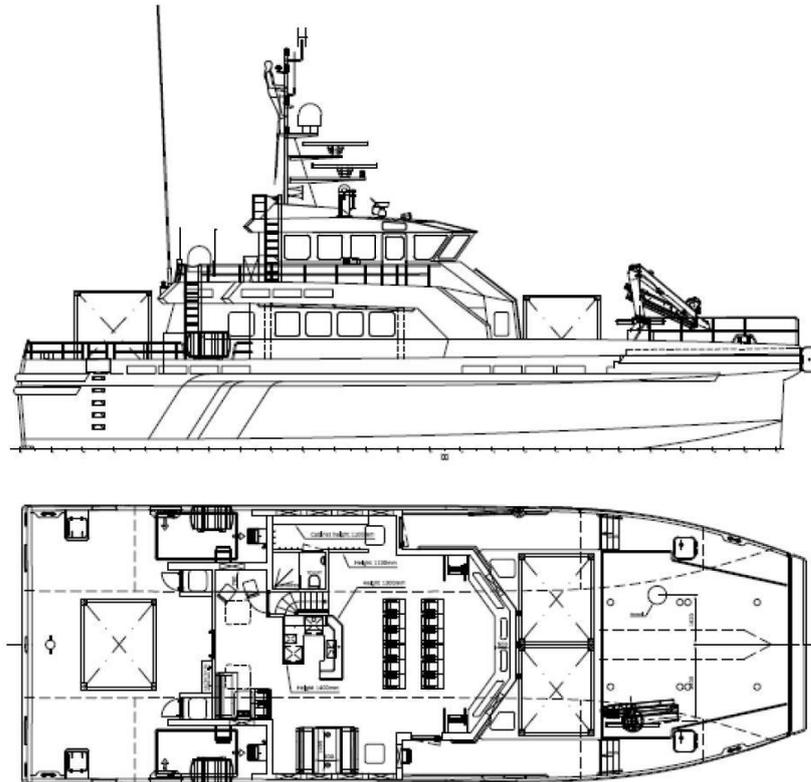
La séquence d'opérations d'un navire lors d'une journée de travail sera typiquement la suivante :

- Transit aller depuis le port jusqu'à la première éolienne pour déposer la première équipe ;
- Transits entre éoliennes pour déposer les autres équipes ;
- Transits des équipes d'une éolienne à une autre ;
- Transits entre éoliennes pour reprendre les équipes ;
- Transit retour depuis la dernière éolienne jusqu'au port.

Entre chaque transit, le navire restera au voisinage du parc.

Pour la maintenance courante, de 1 à 3 navires de transfert seront utilisés ensemble en moyenne 300 jours par an, effectuant chacun de 1 à 2 allers-retours par jour. Le nombre de rotations cumulées de l'ensemble des bateaux est estimé entre 600 et 1200/an.

Figure 26 : Exemple d'un navire de maintenance, le Windcat MK 4.2



Source : EOHF, 2013

Figure 27 : Navire de maintenance à quai (à gauche), et sur une échelle d'accostage (à droite)



Source : EOHF, 2013

## HELICOPTERE

En cas de mauvais temps rendant impossible le transfert des équipes par navire et si la visibilité le permet, un hélicoptère d'une capacité de 3 techniciens de maintenance (selon le type d'hélicoptères) sera utilisé pour une intervention de maintenance corrective. Les accès des techniciens aux éoliennes ou au poste électrique seront assurés par treuillage.

Le temps de vol entre l'héliport et le centre du parc sera d'une quinzaine de minutes, avec une vitesse de croisière de l'ordre de 130 nœuds.

Si nécessaire, l'hélicoptère effectuera plusieurs allers-retours entre l'héliport et le parc (de 2 à 6 allers-retours par jour). Il est estimé que l'hélicoptère sera utilisé en moyenne 75 jours par an, l'utilisation de moyens nautiques étant privilégiée.

Sous réserve de validation technique et d'obtention des autorisations nécessaires, l'hélicoptère pourra ponctuellement être appelé à se poser pour le chargement de colis et de personnel sur une hélisurface à proximité de la base de maintenance.

La base aéroportuaire n'est pas encore connue. Le plan de vol dépendra de la localisation de cette base, et des autorisations spécifiques à obtenir.

### **2.2.7.2 Base portuaire**

#### **CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA BASE PORTUAIRE :**

La base portuaire sera localisée sur le port de Fécamp. Elle est décrite en partie 2.4 page 103.

•

### **2.2.7.3 Déchets produits par les activités de maintenance**

Les déchets de l'activité de maintenance seront générés :

- en mer lors des interventions sur les aérogénérateurs et le poste de transformation en mer;
- à terre au sein de la base portuaire.

Les déchets générés par les activités en mer seront conditionnés dans l'aérogénérateur ou le poste de transformation en vue de leur transbordement vers le navire de transfert (le cas échéant l'hélicoptère). Ils seront ensuite acheminés vers la base portuaire afin d'y être stockés puis évacués vers la filière de traitement adaptée.

Des conditionnements adaptés seront conçus pour le transbordement des déchets (caisses, conteneurs, etc.).

Les déchets générés par les activités de la base portuaire y seront directement stockés puis évacués vers les filières de traitement adaptées. Ils sont de nature suivante: déchets non dangereux (emballages non-contaminés, déchets organiques, autres déchets non dangereux) et déchets dangereux (graisses, huiles, emballages contaminés, autres déchets dangereux).

La base portuaire de maintenance disposera d'aires de stockage dédiées, conçues et dimensionnées dans le respect de la réglementation en vigueur, disposant notamment d'une capacité de rétention suffisante en cas de fuite et d'une séparation des effluents.

## 2.2.8 Démantèlement

### 2.2.8.1 Contexte réglementaire

En application de l'article R 2124-2 du code général de la propriété des personnes publiques la demande de concession renseigne, le cas échéant, sur « la nature des opérations nécessaires à assurer la réversibilité des modifications apportées au milieu naturel et au site, ainsi qu'à la remise en état, la restauration ou la réhabilitation des lieux en fin de titre ou en fin d'utilisation ».

Par ailleurs, le cahier des charges de l'appel d'offres n °2011/S 126-208873 sur l'éolien en mer indique en son article 6.5 que 5 ans au plus tard avant la date de fin de l'exploitation, le maître d'ouvrage en informe le préfet ayant délivré l'autorisation d'occupation du domaine public maritime. Les travaux effectifs de démantèlement et de remise en état doivent être réalisés conformément aux stipulations de la convention de concession ou, le cas échéant, aux décisions du ou des préfets de département compétents, aux termes des dispositions du code général de la propriété des personnes publiques. A cette fin, le maître d'ouvrage réalisera au plus tard 24 mois avant la fin de l'exploitation du parc éolien une étude portant sur l'optimisation des conditions du démantèlement et de la remise en état du site, en tenant compte des enjeux liés à l'environnement, aux activités, et à la sécurité maritime. S'il lui apparaît nécessaire de compléter ou modifier les termes de la convention de concession, le préfet précisera la date à laquelle cette étude devra lui être fournie.

Le Maître d'Ouvrage s'est fixé les objectifs suivants, pour les opérations de démantèlement du parc :

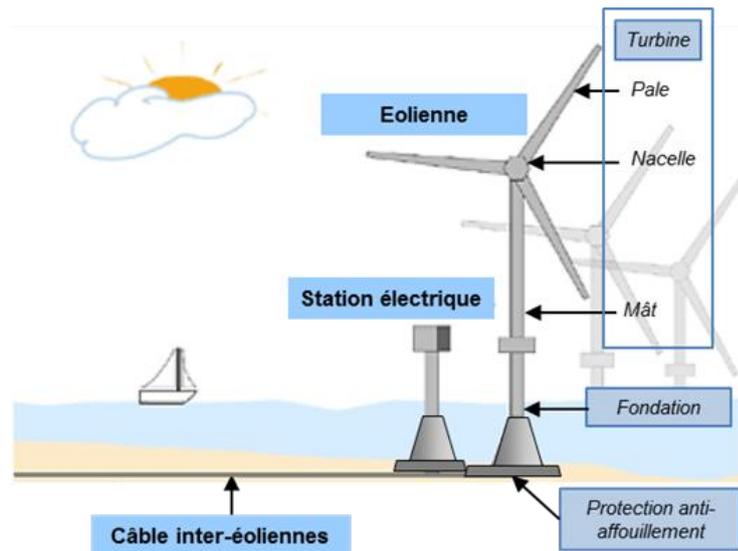
- Le retrait des composants du parc visant à la réhabilitation des lieux;
- Le traitement des déchets dans les meilleures conditions technico-économiques du moment, dans le respect de la réglementation (privilégier la réutilisation, le recyclage, la valorisation énergétique...);
- La réalisation des opérations de démantèlement en cherchant systématiquement à minimiser les impacts environnementaux.

### 2.2.8.2 Constitution des éléments à démanteler

Les éléments à démanteler constituant le parc sont :

- 83 Éoliennes ALSTOM Haliade (mât, nacelle et pales) ;
- Fondations des éoliennes (gravitaires) ;
- Protections anti-affouillement des fondations ;
- 134 km de câbles inter-éoliennes : les câbles pourront être soit ensouillés, soit protégés par un tapis d'embrochements (le choix s'effectuera à l'issue des études techniques) ;
- 1 poste électrique en mer (plate-forme, fondation jacket ou gravitaire...).

Figure 28 : Sous-système constituant le parc



Source : Artelia, 2014

### 2.2.8.3 Opérations en mer de dépose du parc

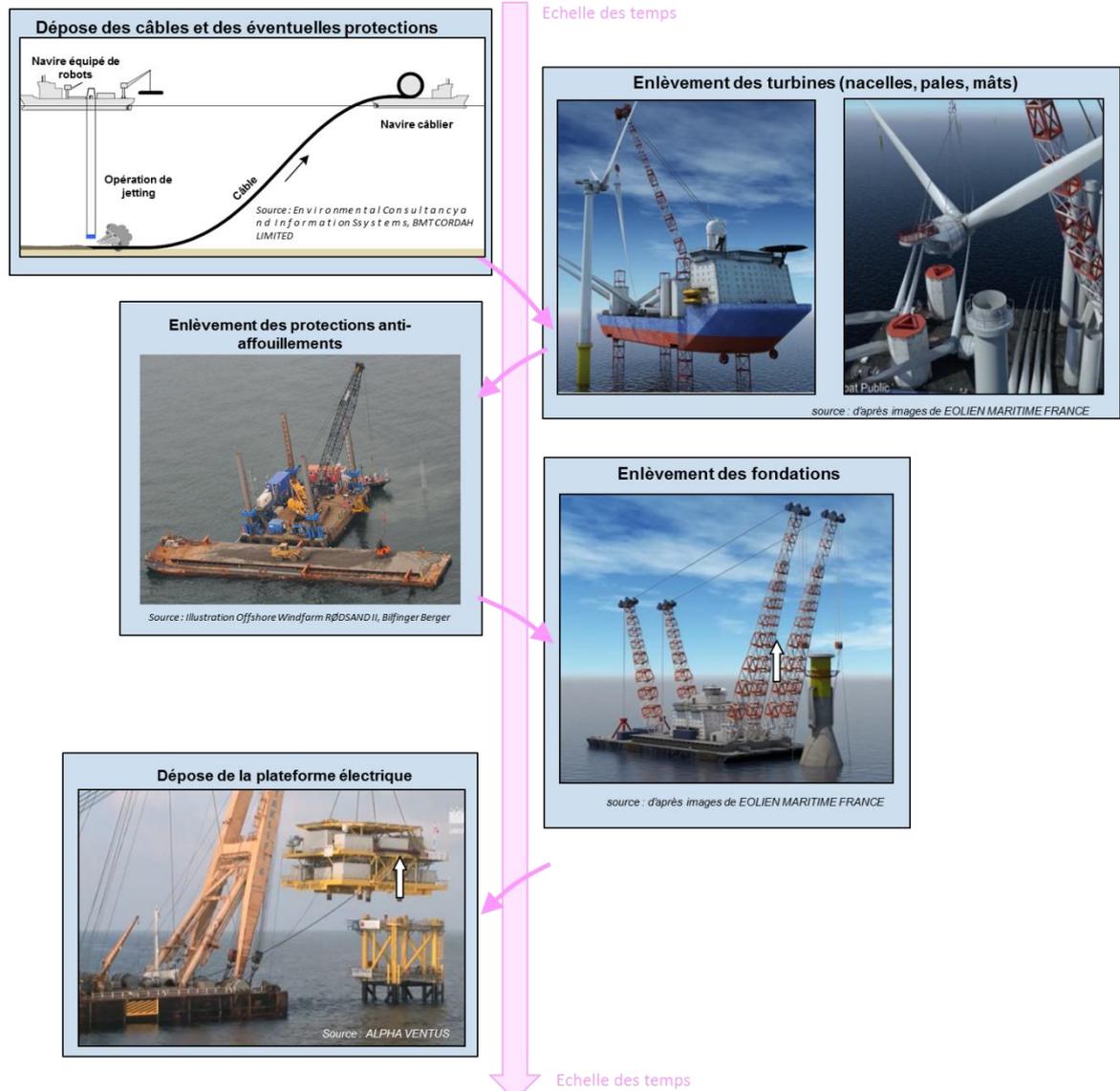
#### **SEQUENÇAGE DES OPERATIONS DE DEPOSE POUR CHAQUE ELEMENT DU PARC**

Le démantèlement du parc se fera par une séquence proche de celle inverse à l'installation (construction), à savoir la dépose :

- Des câbles inter-éoliennes et les éventuelles protections associées ;
- Des éoliennes (pales, rotor, nacelle puis mâts) ;
- Des protections anti-affouillements ;
- Des fondations ;
- Du poste électrique (séquence indépendante).

Après leur dépose, les éléments seront acheminés vers les infrastructures portuaires afin d'être recyclés.

Figure 29 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc



Source : Artelia, 2014

Le choix du séquençage de la dépose de chaque composant sera arrêté à l'issue de la phase d'exploitation (en concertation avec les services de l'Etat), en raison notamment de :

- L'état des structures, en particulier les fondations (inspections par ROV ...)
- L'évolution des moyens techniques de dépose et de recyclage des composants du parc, en particulier les techniques de moindres impacts environnementaux ;
- Des infrastructures portuaires présentes au moment des opérations de démantèlement.

Le démantèlement est envisagé conformément à la réglementation française, en vue d'assurer la réversibilité des modifications apportées au milieu naturel et au site et la remise en état, la restauration ou la réhabilitation des lieux. Par conséquent, il conviendra, en fin de période d'exploitation, de réaliser une expertise afin de déterminer la meilleure solution technique permettant d'atteindre ces objectifs en tenant compte des enjeux liés à l'environnement, aux activités et à la sécurité maritime.

Le séquençage des opérations en mer de dépose est détaillé, pour chaque élément du parc, dans les paragraphes suivants.

## DEPOSE DES CABLES

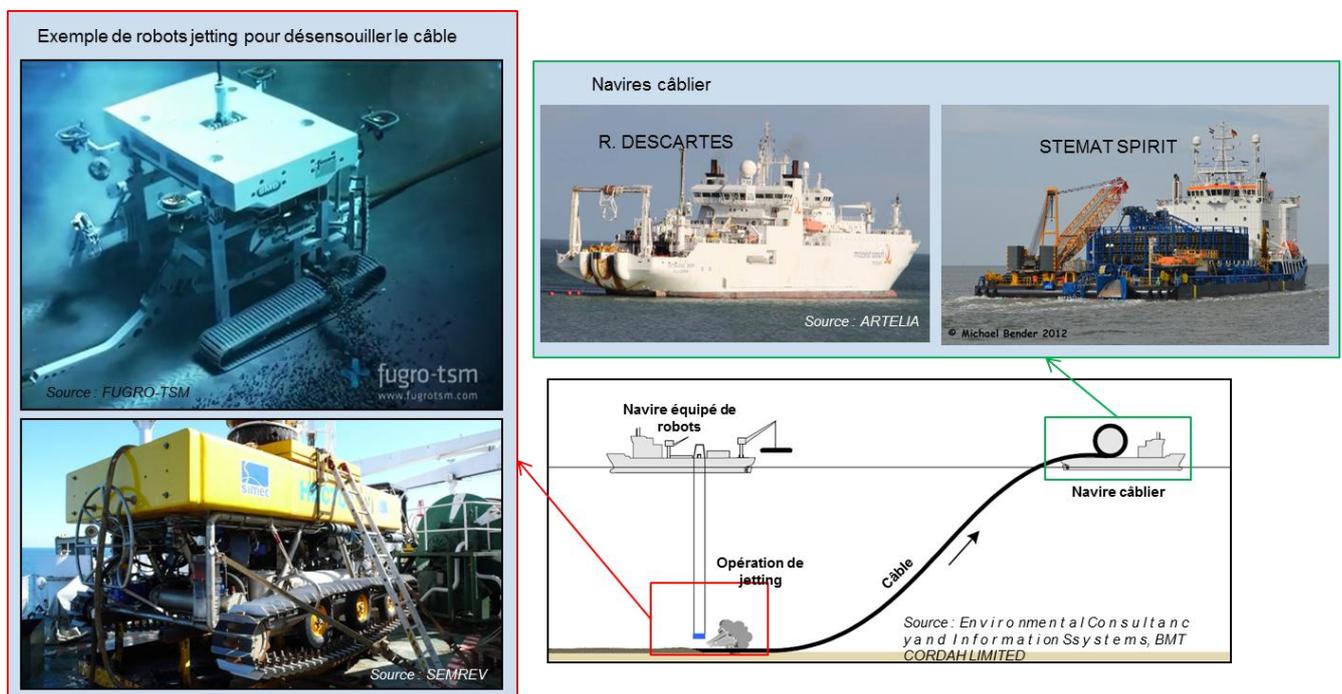
Les câbles électriques inter-éoliennes seront enfouis dans le sol marin ou protégés par des enrochements, selon la nature des fonds.

Deux méthodologies de dépose sont envisageables à ce stade :

- Dépose des câbles ensouillés : les travaux se dérouleraient à l'avancement. Ils pourraient être réalisés à l'aide :
  - D'un navire de désensouillage (charrue, jetting, trancheuse mécanique, ROV...) ;
  - D'un navire câblé pour récupérer le câble par tirage et le lover à bord.

Si le câble est en mauvais état et ne permet pas le tirage depuis un navire câblé, il pourra être envisagé de le découper en tronçon puis, à l'aide d'une grue munie d'un grappin de le sortir de l'eau et de le déposer sur une barge.

Figure 30 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc



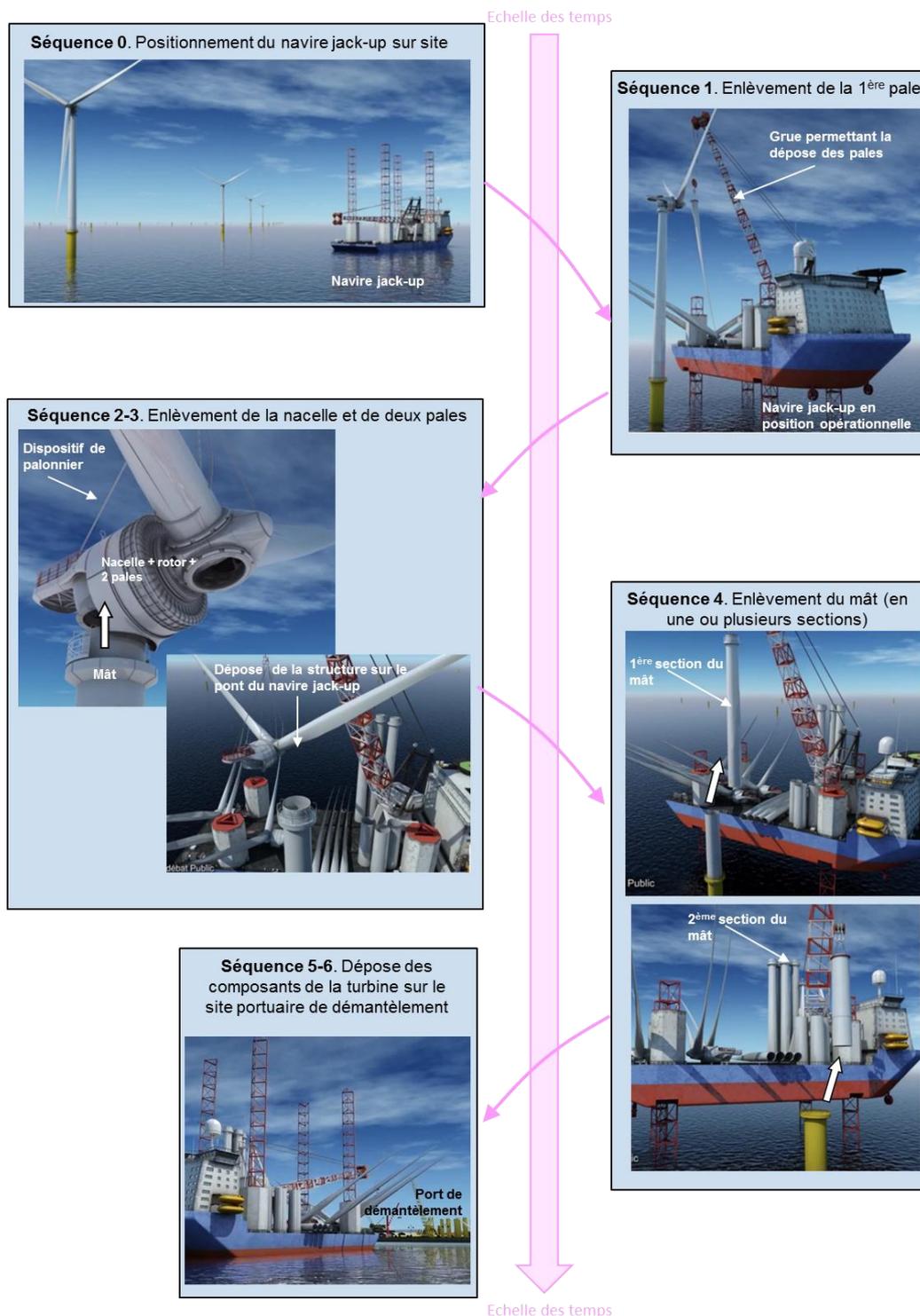
Source : Artelia, 2014

- Dépose des câbles protégés : le séquençage sera semblable à celui des câbles enfouis, à savoir des travaux à l'avancement. Cependant, préalablement, une barge équipée d'une grue avec grappin/godet aura enlevé les enrochements positionnés sur les câbles. Les enrochements pourraient être acheminés jusqu'aux sites portuaires par deux ou trois barges.

## DEPOSE DES EOLIENNES

Les opérations consistent à déposer la turbine (nacelle) avec une ou trois pales, puis le mât. Les travaux de dépose et transport pourraient être réalisés par un navire type jack-up équipé d'une grue.

Figure 31 : Séquençage des opérations de dépose de la turbine (« bunny ear »)



Source : Artelia, 2014 ; d'après images de EOLIEN MARITIME FRANCE

## DEPOSE DES PROTECTIONS ANTI-AFFOUILLEMENT

Les travaux de dépose des protections anti-affouillements (enrochements) se dérouleraient préalablement à la dépose des fondations. L'enlèvement de ces protections pourrait s'effectuer par un navire (jack-up ou barge) muni d'une grue avec grappin. Les enrochements seraient ensuite transportés par barge ou chalands jusqu'aux sites portuaires.

Après dépose de la fondation gravitaire, la couche de substitution sous la fondation pourrait être draguée à l'aide d'une drague aspiratrice en marche.

*Figure 32 : Moyens de dépose des protections anti-affouillements*

Dépose des protections anti-affouillements : barge avec grue



Dépose de la couche de substitution : drague aspiratrice en marche



*Source : Offshore Windfarm RØDSAND II, Bilfinger Berger*

*Source : Illustration DEME*

## DEPOSE DES FONDATIONS GRAVITAIRES

Après vidange d'une partie des ballasts, la fondation pourrait être levée jusqu'à une position semi-immersée (ceci pour limiter les capacités de levage et de transport). Elle serait ensuite transportée dans cette position jusqu'au site portuaire de démantèlement.

Le poids de la fondation gravitaire (hors ballast) est très important (4000 à 6000 t) ce qui nécessite, pour le levage et le transport, un navire de forte capacité de levage (type OSTREA / SVANEN / navire biggé). Il pourrait également être envisagé l'utilisation d'un ponton submersible en U et des remorqueurs pour transporter le ponton submersible et la fondation, ou le transport de la fondation par remorqueur ci celle-ci permet la flottaison.

*Figure 33 : Navires envisagés pour le levage et transport des fondations gravitaires*

OSTREA

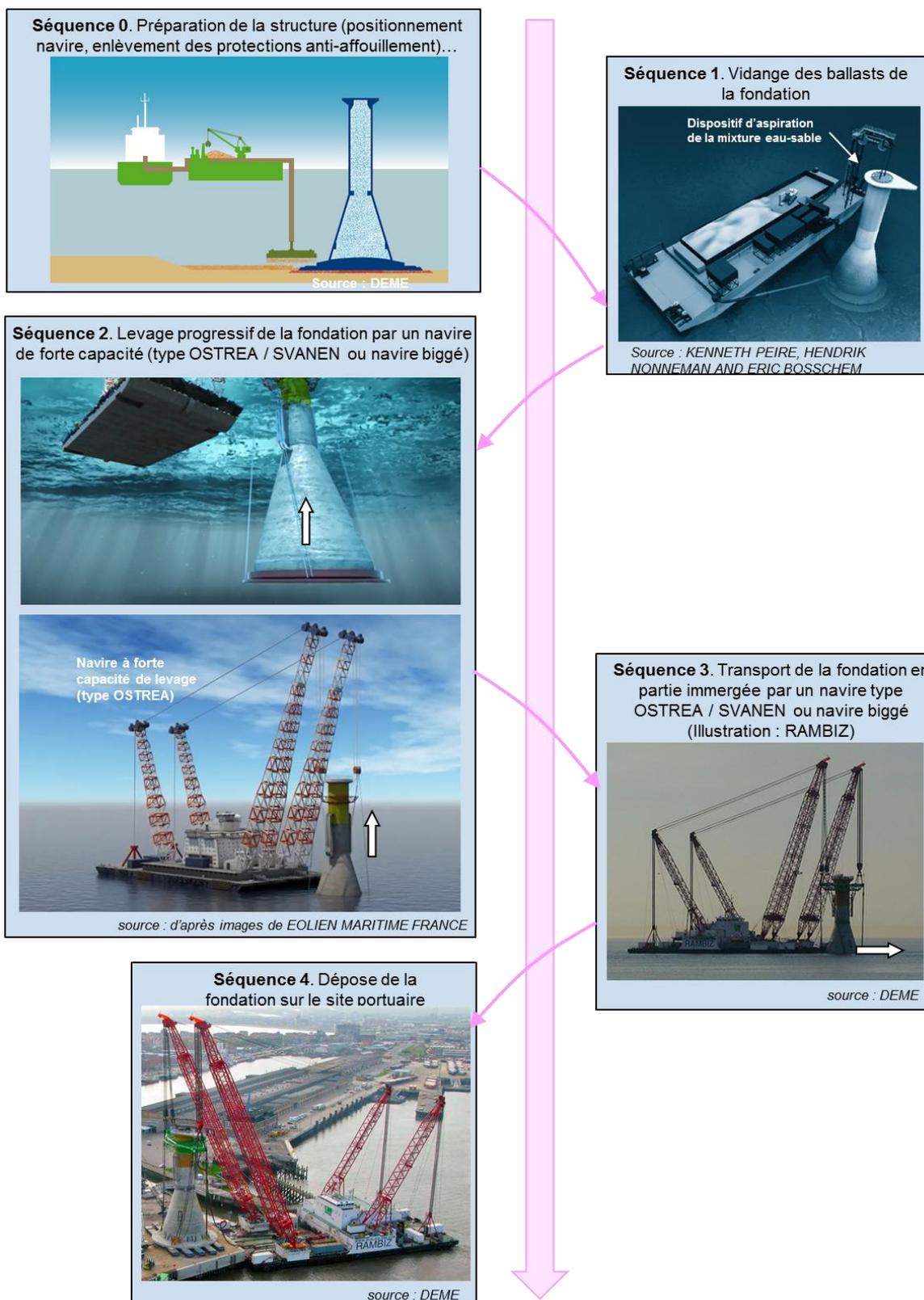


SVANEN



*Source : E. van de Brug*

Figure 34 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la fondation gravitaire

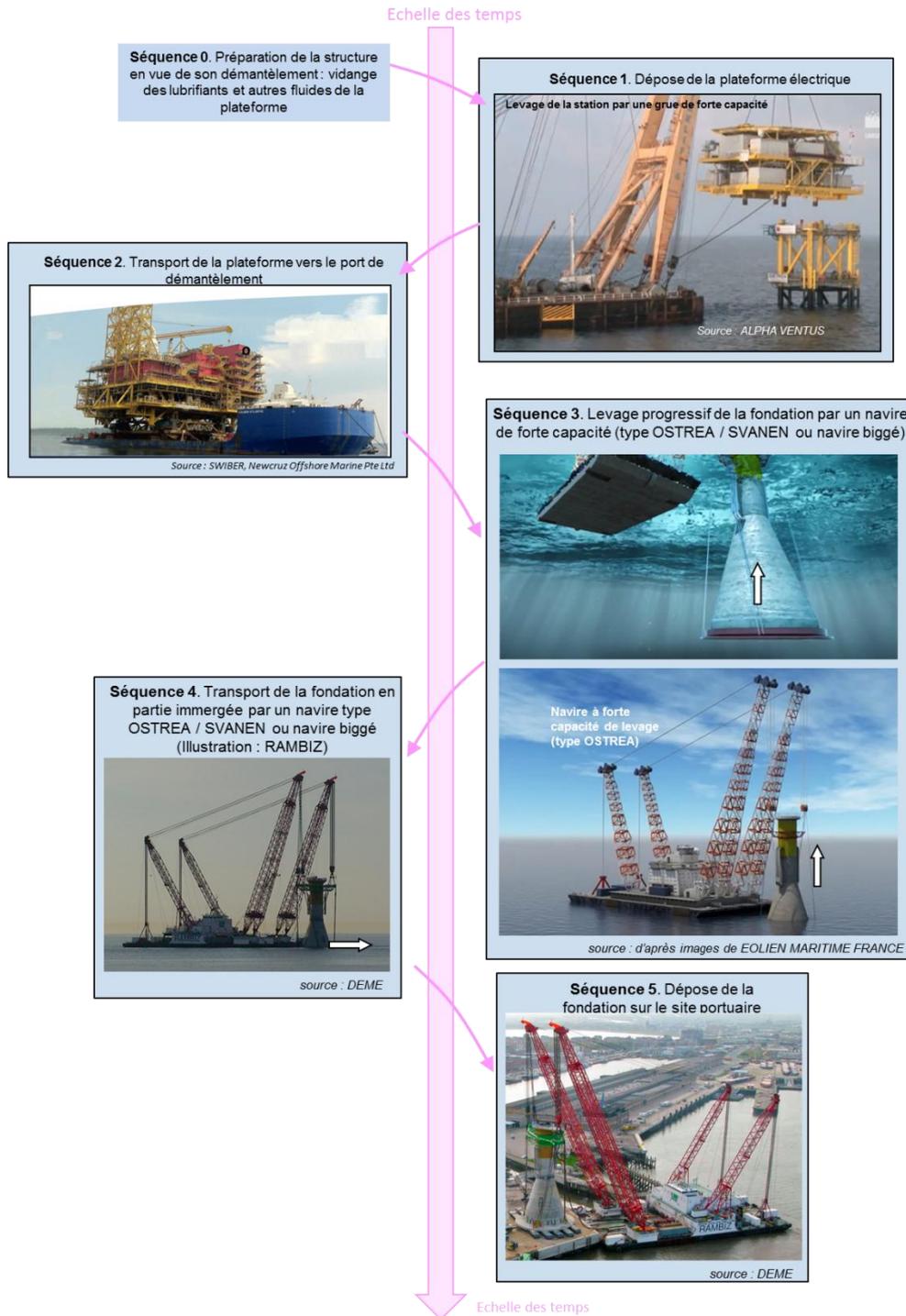


Source : Artelia, 2014

## DEPOSE DU POSTE ELECTRIQUE

Le séquençage de la dépose de la station électrique est assez semblable à celui d'une éolienne (turbine et fondation), à savoir la dépose de la plateforme puis celle de la fondation. Cependant, les capacités de levage et de transport sont plus importantes. Les séquençages ci-après présentent la dépose pour les deux types de fondations.

Figure 35 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la station électrique (plate-forme et fondation gravitaire)



**Nota :** il n'existe pas de retour d'expérience pour la dépose des fondations gravitaire d'une telle ampleur. Il est émis l'hypothèse que le levage et transport de la fondation (immergée en partie) est réalisée par un navire en U type OSTREA ou SVANEN. Cependant, les illustrations ont été réalisées à partir de moyens type RAMBIZ dont la capacité de levage est à ce jour insuffisante pour les fondations du parc.

Figure 36 : Séquençage des opérations de dépose de la station électrique (plate-forme et fondation jacket)

Source : Artelia, 2014

Echelle des temps

**Séquence 0. Préparation de la structure en vue de son démantèlement : vidange des lubrifiants et autres fluides de la plateforme**

**Séquence 1. Dépose de la plateforme électrique**

Levage de la station par une grue de forte capacité



**Séquence 2. Transport de la plateforme vers le port de démantèlement**

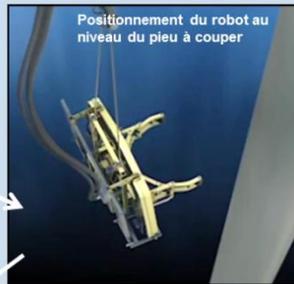


**Séquence 3. Dépose de la fondation jacket**

Mise en tension de la fondation pour permettre le découpage des pieux de fondations



**Séquence 3. Dépose de la fondation jacket**  
Découpage des pieux d'ancrage de la fondation par un ROV



Source : BTI Services

**Séquence 4. Transport de la fondation vers le site portuaire de démantèlement**



Echelle des temps

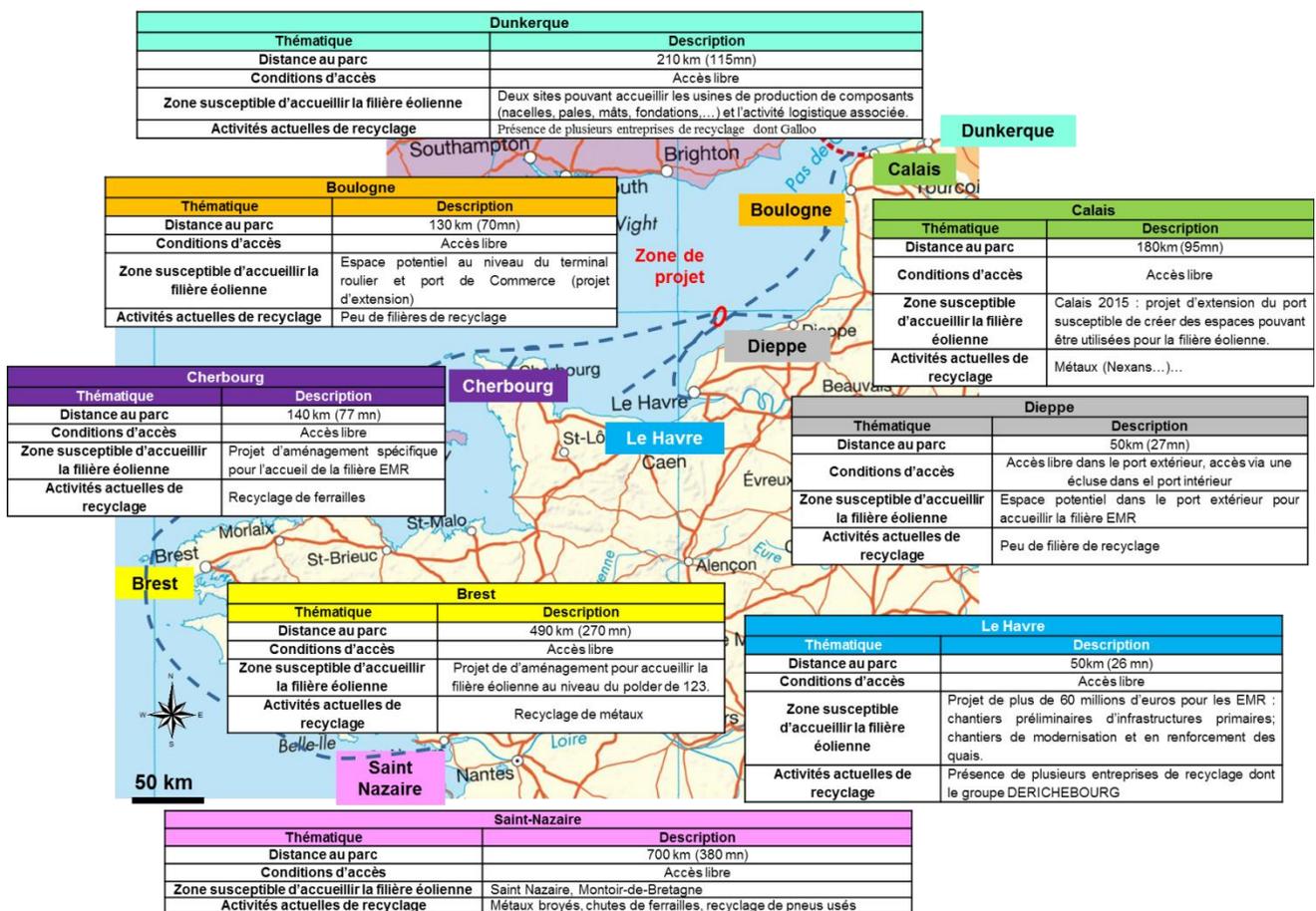
### 2.2.8.4 Moyens logistiques portuaires à proximité du parc

Pour le démantèlement du parc, deux types d'installations portuaires devront être identifiées :

- Les installations portuaires susceptibles d'être utilisées pour les opérations de démantèlement : il s'agira des ports les plus proches et ayant servi à l'assemblage et la construction du parc car les moyens logistiques sont semblables à ceux de la dépose des éoliennes (Cherbourg, Saint Nazaire et Le Havre et Fécamp dans le transfert éventuel des équipes de démantèlement) :
  - Infrastructure portuaire pour l'accueil des navires : quai, grue, accès avec un tirant d'eau important... ;
  - Superficiés importantes de terre-pleins bords à des quais pour la dépose et le démantèlement/recyclage des composants ;
- Les ports susceptibles d'accueillir les matériaux à recycler (si différents des précédents).

Le choix final dépendra des espaces disponibles au moment des travaux et du développement industriel de la logistique liée à la filière de valorisation.

Figure 37 : Synthèse des ports susceptibles d'accueillir la filière démantèlement



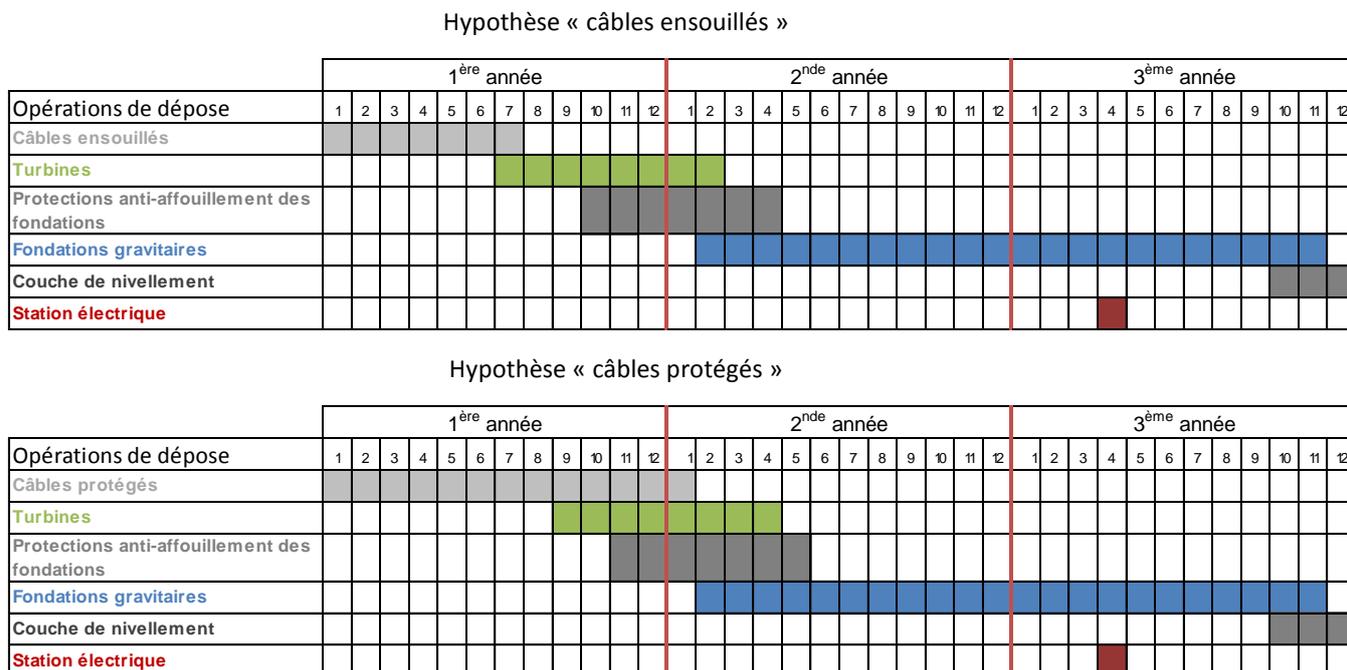
Source : geoportail

### 2.2.8.5 Planning global des opérations en mer de dépose

L'avancement des travaux maritimes de dépose dépendra fortement des conditions météo-océanographiques : une hauteur de houle (tenue des navires en opération), des vitesses de vent (perturbation des opérations de levage) et des courants (tenue des navires en opération) trop importants peuvent empêcher les opérations nautiques de se dérouler. Ces indisponibilités météorologiques dépendent du type de moyens nautiques utilisés pour la dépose et varie fortement suivant les saisons ; elles peuvent atteindre en moyenne 30%.

La durée totale des opérations en mer est estimée, actuellement, à 3 ans. Le calendrier réel pourra être adapté suivant la saisonnalité des opérations.

Figure 38 : Planning prévisionnel pour la dépose du parc (approche préliminaire)



Source : Artelia, 2014

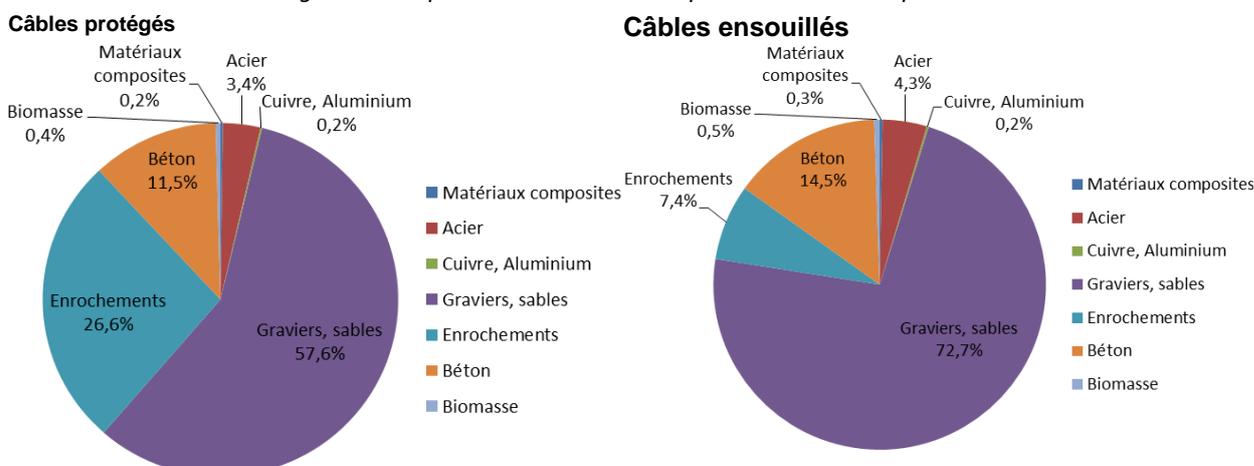
### 2.2.8.6 Recyclage des éléments constituant le parc

L'analyse du recyclage a porté sur les volumes de matériaux engendrés par les opérations de démantèlement et sur les filières potentielles de recyclage. Il convient de préciser que cette analyse correspond à un état des lieux en 2014 des filières existantes. Certaines filières sont actuellement en plein développement et s'adapteront aux besoins nouveaux, générés par la filière éolienne offshore (c'est le cas par exemple des matériaux composites dont les actions R&D sur le développement des filières sont nombreuses).

### MATERIAUX CONSTITUANTS LE PARC

Le recyclage des constituants du parc génère entre 2,9 – 3,7 millions de tonnes de matériaux.

Figure 39 : Répartition des matériaux pour l'ensemble du parc



Source : ARTELIA, d'après données EDF-EN

## FILIERES DE RECYCLAGE

L'objectif du plan de démantèlement en matière de gestion des produits en fin de vie est de proposer, dans les conditions du moment, les meilleures solutions techniques et économiques, respectant la réglementation. Le tableau ci-après décrit les moyens / équipements de recyclage ainsi que les opérations de prétraitement / traitement ; ceci pour chaque filière :

Tableau 14 : Synthèse des filières de recyclage

Matière première	Conditionnement sur le port	Equipements nécessaires	Intervention - Organisation	Pré-traitement	Traitement
Fibres de verre	Découpe et broyage sur site	1 cisaille hydraulique et 1 broyeur mobile	Organisation sur 1 site	Broyage, préparation d'un CSR sur un site de proximité	Valorisation en cimenterie
Aciers	Cisaille et découpe de pièces de longueur de 4/5m	2 ou 3 cisailles hydrauliques et presses mobiles	Organisation sur 2 ou 3 sites	Broyage, séparation des éléments métalliques	Valorisation en aciérie
Aluminium, Cuivre, Câbles	Cisaille et découpe de pièces, câbles de longueur de 4 / 5 m	1 cisaille hydraulique et presse mobile	Organisation sur 1 site	Broyage, séparation des éléments métalliques et plastiques	Valorisation en fonderie, RBA en décharge - Plasturgie
Bétons	Brise roche, chargement pelle hydraulique	2 ou 3 brises roches / pelles	Organisation sur 2 ou 3 sites	Broyage, criblage, tri et affinage	Valorisation en technique routière, en remblais
Enrochements	Brise roche, chargement pelle hydraulique	2 ou 3 brises roches / pelles	Organisation sur 2 ou 3 sites	Broyage, criblage, tri et affinage	Valorisation en technique routière, en remblais
Sables, graviers	Chargement pelle hydraulique	2 ou 3 pelles hydrauliques	Organisation sur 2 ou 3 sites	Broyage, criblage, tri et affinage	Valorisation en technique routière, en remblais
Biomasse	La biomasse est considérée comme un élément (indésirable) à part entière de son substrat. A la suite de chaque process utilisé les résidus seront mis en décharge ou incinérés (sauf développement d'une filière spécifique).				

Au final, potentiellement plus de 95% des matériaux peuvent être recyclés ou valorisés thermiquement.

Techniquement, les filières actuellement proposées sont éprouvées (recyclage des aciers, métaux non ferreux, bétons, enrochement...) ou tendent à l'être (Combustible de substitution pour cimenterie). La principale incertitude repose sur les capacités régionales disponibles, voire nationales pour pouvoir absorber une telle quantité de matériaux sur une durée réduite (2 à 3 ans) :

- Métaux ferreux et non ferreux, câbles : le recyclage de ces produits se pratique principalement en aciérie et fonderie. Les débouchés, à l'heure actuelle, sont parfaitement connus et maîtrisés, et existeront encore dans les 30 à 40 ans à venir ;
- Bétons, graviers, sables, enrochements... : sur le plan national, ces produits sont de plus en plus recyclés. Les techniques sont parfaitement maîtrisées mais le marché croît lentement ;
- Fibres de verres (matériaux composites) : difficilement recyclables, ces produits sont fortement demandés actuellement en tant que combustible de substitution pour les unités industrielles qui demandent un fort apport calorifique (dont les cimenteries). La demande et la croissance sont en très forte progression, et les gisements actuellement proposés sont parfaitement compatibles avec les capacités d'absorption de ces unités sur un plan régional. A noter que des démarches de R&D sont en cours de développement en lien avec le programme Airbus, IRT Jules Vernes...

### 2.2.8.7 Planning global des opérations de recyclage

Pour les opérations de recyclage, le facteur limitant en termes de délai est la phase amont du démantèlement, soit les opérations de dépose en mer. Ainsi, le phasage des opérations de recyclage sur les sites portuaires se calera parfaitement au calendrier de démantèlement / dépose, c'est-à-dire n'excèdera pas 3 ans. Quand les matériaux arriveront sur les ports, ceux-ci seront immédiatement pris en charge, pré-traités, reconditionnés pour être acheminés vers les sites de traitement.

## 2.3 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU RACCORDEMENT ELECTRIQUE

### 2.3.1 Liaison sous-marine

#### 2.3.1.1 Constituants techniques de la liaison sous-marine

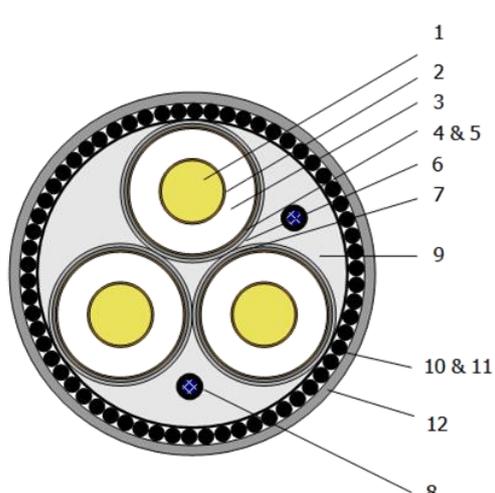
La liaison sous-marine est composée de deux câbles « tripolaires », chacun d'un diamètre de l'ordre de 27 cm, d'un poids d'environ 130 kg/mètre linéaire.

Chacun des deux câbles comprend trois conducteurs électriques et intègre un à deux câbles de télécommunication à fibres optiques, le tout réuni sous une armure et une gaine de protection extérieure.

Ces câbles sont enrobés d'une gaine bituminée qui assure la protection contre la corrosion de l'armure en acier. Le bitume étant solide et inerte, il n'y a pas de risque qu'il se délite dans le temps dans la mer.

Leurs caractéristiques sont précisées sur le schéma ci-après.

Figure 40 : Coupe d'un câble tripolaire sous-marin



1	Ame	Cuivre Ou Aluminium
2	Semi conducteur interne	Polyéthylène
3	Isolant principal	Polyéthylène réticulé
4	Semi conducteur externe	Polyéthylène
5	Matelas interne	Polyéthylène
6	Ecran métallique	Plomb
7	Gaine	Polyéthylène
8	Câble Fibre optique	
9	Bourrages	Polypropylène Ou Polyéthylène
10	Matelas armure	Polypropylène
11	Armure de protection	Acier galvanisé (au zinc)
12	Revêtement externe	Polypropylène et Bitume

Source : RTE, 2014

### 2.3.1.2 Description et nature des travaux

On peut distinguer plusieurs opérations durant les travaux de pose et de protection des câbles sous-marins :

- des travaux à proximité de la plateforme en mer pour leur raccordement sur le poste électrique en mer (propriété Eoliennes Offshore des Hautes Falaises),
- des travaux en mer pour leur pose et leur protection (de manière simultanée ou non),
- des travaux à l'atterrage pour leur jonction avec les câbles terrestres.

#### **LE RACCORDEMENT DE LA LIAISON SOUS-MARINE SUR LE POSTE ELECTRIQUE EN MER**

En fonction de la configuration de la zone, du planning d'installation de la plateforme offshore, des périodes d'intervention et des conditions de mer, la pose peut aussi bien commencer depuis la plateforme en mer que depuis l'atterrage.

Au poste en mer, le câble remonte via une structure spécifique assurant sa protection par rapport au milieu extérieur. En règle générale, cette structure est un tube en forme de « J » et est communément appelée J-Tube. D'autres variantes peuvent exister selon le design de la plateforme.

*Figure 41 : Exemple d'installation de J Tube pour une fondation d'éolienne*



*Source : RTE, 2014*

#### **LA POSE ET LA PROTECTION DES CABLES SOUS-MARINS**

La distance entre les deux câbles tripolaires de la liaison sera d'environ trois fois la hauteur (distance entre le fond et la surface de la mer de l'ordre d'une trentaine de mètres maximum) pour faciliter la pose et l'accès aux câbles en cas de maintenance. Cette distance pourra varier en fonction des obstacles rencontrés sur le parcours sous-marin, et diminuera progressivement jusqu'à un espace minimal au niveau des jonctions d'atterrage<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Jonction d'atterrage : ouvrage souterrain de raccordement entre les câbles sous-marins et les câbles souterrains situés à terre à proximité du littoral.

## **LE NETTOYAGE DU TRACE**

Des opérations de reconnaissance des obstacles et débris présents sur le tracé du câble sont organisées durant toute la phase d'études, et le tracé du câble proposé les évitera dans la mesure du possible.

Cependant, il peut arriver que certains débris ne puissent être évités. Dans ce cas, une opération de nettoyage du tracé (pour chaque câble) sera effectuée juste avant la pose. Une opération dite de « Pre Lay Grapple Run », consistant à tirer un grappin (d'environ 2m de largeur) sur le fond marin, permet d'enlever la très grande majorité des débris.

*Figure 42 : Exemple de grappin utilisé pour une opération de « Pre Lay Grapple Run »*



*Source : Van Oord, 2011*

## **LA POSE DES CABLES**

Depuis le poste électrique en mer jusqu'aux abords du littoral, en dessous du niveau des plus basses mers, la liaison sous-marine sera déroulée et déposée sur les fonds marins à partir d'un navire ou d'une barge, spécialement équipée.

Pendant les opérations de pose en mer, le câble est déroulé depuis le navire câblé qui avance régulièrement. Le positionnement du câble est assuré par GPS.

En cas d'ensouillage du câble, celui-ci peut se faire à l'aide du même navire ou d'un autre navire spécialement équipé.

Le navire câblé est équipé :

- d'une cuvette (bobine disposée horizontalement sur le pont du navire) permettant de stocker jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres de câbles,
- d'équipements spécifiques pour mettre le câble à l'eau et maîtriser les efforts supportés par celui-ci,
- de moyens de levage (grues, portiques, ...) spécifiques.

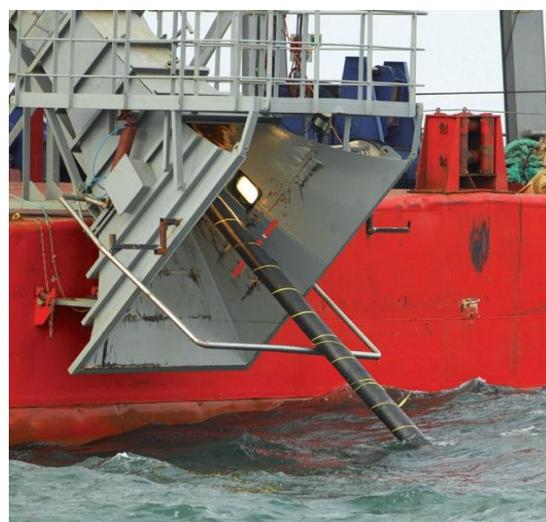
Globalement, les moyens maritimes mis en œuvre peuvent être les suivants :

- un navire de transport et de pose du câble,
- un navire assurant tout ou partie de la protection du câble,
- un navire réalisant une opération particulière (rock dumping, dragage, ...),
- des remorqueurs dont le rôle est l'aide au déplacement du navire de pose,
- des navires assurant la sécurité du chantier,
- des navires assurant le transit des équipages (dans le cas de liaisons longues),
- tout autre navire pour une opération particulière.

Figure 43 : Exemple de navire câblé et d'opérations de pose de câbles



Source : données 2014, ABB



Source : Nexans,



2013

## **LA PROTECTION DES CABLES**

### **Le mode de protection des câbles**

Parmi les différentes méthodes possibles, RTE considère de manière préférentielle la protection par ensouillage qui consiste à enfouir les câbles dans le fond marin à une profondeur donnée. Cependant lorsque la nature du fond marin ne le permet pas, ou bien lorsque l'ensouillage est insatisfaisant, on doit alors considérer des protections dites externes.

### **Le niveau de protection des câbles**

Il résulte de la prise en compte de plusieurs contraintes :

- Les risques recensés sur la zone,
- La connaissance du type de sol.

Ces paramètres estimés, en phase travaux les meilleurs efforts sont déployés par le maître d'ouvrage pour atteindre la profondeur cible d'installation du câble.

### Les risques recensés sur la zone

Les câbles peuvent être exposés au risque d'accroche par une ancre (risque navigation) ou par un engin de pêche (risque pêche).

Concernant la pêche, on cherche à estimer le nombre de bateaux en activité dans la zone, selon le type de pêche (chalutage, dragage, etc.) et la période de l'année (saisonnalité des pêches, restrictions horaires, etc.). L'évaluation de ces risques permet de retenir un niveau de protection.

Concernant la navigation, il s'agit d'estimer le type et l'intensité du trafic au niveau des fuseaux des câbles, ainsi que les éventuels lieux de mouillage à proximité.

Dans le cas présent, les activités de pêche recensées sont d'intensité faible. On y retrouve des activités de chalut, drague à coquillage, filet et casier. La navigation est d'intensité moyenne avec des bateaux portant des ancres de petite taille. En effet, le corridor est traversé par la route directe rejoignant le DST du Pas-de-Calais au niveau de Bassurelle et par le trafic en provenance de ce même DST à destination de la Baie de Seine. Cela représente moins de 4 mouvements par jour. Enfin, aucune zone de dégagement ou d'attente ne se trouve dans ou à proximité immédiate du corridor.

Au vu des activités de pêche recensées (présence d'activités de chalutage), il est nécessaire de protéger les câbles. Concernant la navigation, aucune contrainte particulière liée au mouillage de navires n'a été identifiée.

Au global, vu les risques recensés sur la zone, les câbles seront protégés et on visera à obtenir les meilleurs efforts des entreprises pour réaliser ces protections par ensouillage à tous les endroits où cela est techniquement faisable dans des conditions satisfaisantes.

### Evaluation du type de sol

La détermination du type de sol est le résultat de campagnes d'investigations en mer, géophysiques puis géotechniques. Les résultats permettent d'obtenir ainsi une description des différentes couches du fond marin que l'on peut rattacher à des catégories prédéfinies selon leurs caractéristiques mécaniques.

Les études de sols géophysique et géotechnique réalisées sur le corridor envisagé pour l'installation des câbles font apparaître globalement, atterrage mis à part, un sol constitué principalement de deux couches :

- une première couche superficielle peu cohérente constituée de matériaux de types graviers et galets,
- une deuxième couche constituée principalement d'un sol plus dur plus ou moins altéré.

Nous pouvons relever qu'au niveau du contournement par l'est de la zone d'érosion (située à environ 11 kilomètres du littoral) le sol est plus dur que sur le reste du tracé.

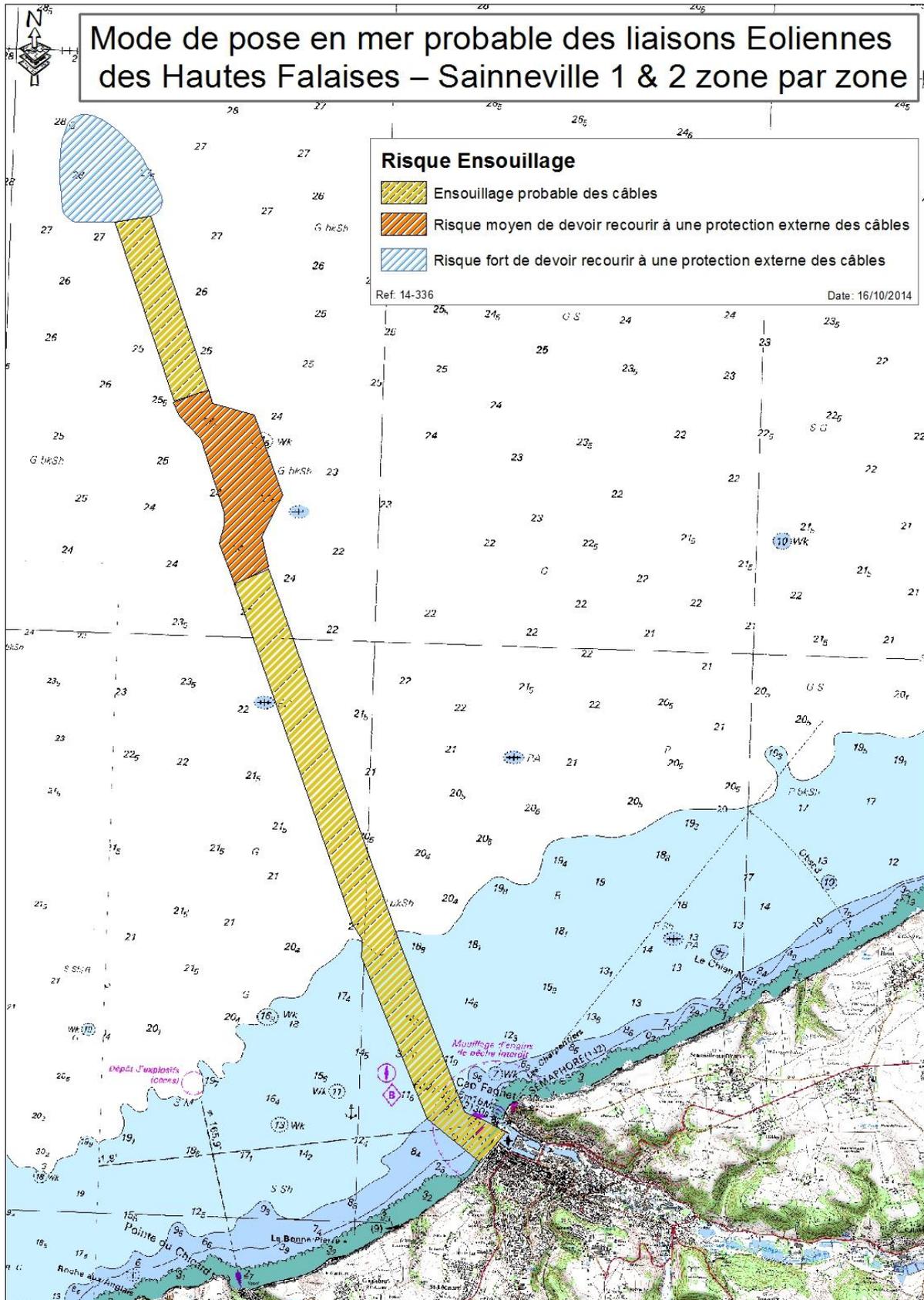
Au vu de ces éléments :

- Il est très probable de pouvoir recourir à une protection des câbles par ensouillage sur la majeure partie du tracé ;
- Dans la zone d'érosion à 11km du littoral, la dureté des sols rencontrés augmente toutefois la probabilité de devoir recourir à des protections externes ;
- Dans la zone particulière autour du poste électrique en mer, il sera recouru à une protection externe car il est difficilement envisageable de creuser de tranchée à cet endroit où convergent les câbles inter-éoliennes.

C'est ce que traduit la Figure 44.

L'évaluation faite ici doit toutefois être nuancée du fait de l'espacement des points de sondage (des sondages ont été réalisés tous les kilomètres) et de l'inévitable incertitude des mesures elles-mêmes.

Figure 44 : Modes de pose probables des liaisons de raccordement du parc éolien en mer de Fécamp

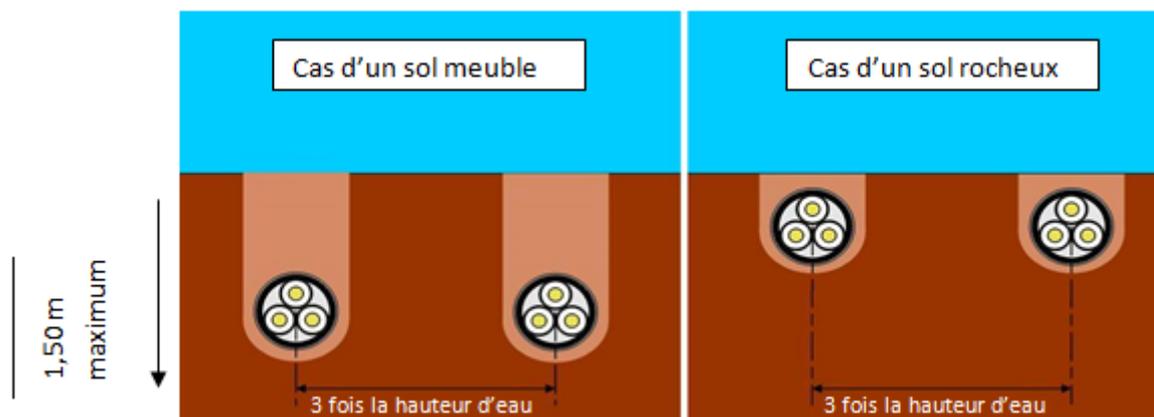


Source : RTE, 2015

## LA PROFONDEUR D'ENSOUILLAGE DES CÂBLES

La profondeur d'ensouillage dépendra des contraintes externes, de la nature du sol rencontré et des capacités des moyens utilisés. Par ailleurs, en cas de mouvements sédimentaires, une surprofondeur est intégrée à la cible pour prendre en compte le risque d'érosion.

Figure 45 : Représentation de l'ensouillage de câbles sous-marins



Source : RTE, 2014

Les câbles seront ensouillés dans deux tranchées, avec une profondeur comprise entre environ 1 m et 1,50 m (soit une hauteur de couverture au-dessus des câbles d'environ 70 cm à 1,20 m).

A l'atterrage, les câbles seront installés dans des fourreaux lesquels seront soit posés en tranchées, soit installés par une technique de forage en sous-œuvre. En cas de passage en tranchées, la hauteur de couverture au-dessus des câbles pourra varier de 1 m à 3,50 m. La profondeur serait supérieure en cas de passage en sous-œuvre.

Une fois le câble sous-marin en place, la tranchée est refermée soit naturellement, soit par une opération spécifique (si les conditions hydrodynamiques ne permettent pas un rebouchage naturel de la tranchée). Quelle que soit la technique utilisée, l'opération de comblement permettra de reconstituer une couverture au-dessus du câble sur une hauteur conforme aux valeurs annoncées ci-dessus, à savoir 70 cm au minimum.

On visera à ce que cette hauteur de couverture minimale soit atteinte à la mise en service de la liaison.

## LA PROTECTION DES CÂBLES PAR ENSOULLAGE

Il existe une grande variété de machines permettant de protéger les câbles par ensouillage. Certaines sont développées spécifiquement pour un besoin précis. Cependant, il est possible de distinguer 3 grands types de fonctionnement de ces machines :

- le *water jetting* : jet d'eau sous pression pouvant être utilisé dans des sols ayant un niveau de cohérence limité ;
- la charrue : principe similaire à celui d'une charrue qui fend la terre, pouvant être utilisée dans un sol pas trop dur ;
- la trancheuse mécanique : machine de type scie circulaire, à roue ou chaîne, pour couper un sol dur.

Il est à noter que certaines machines combinent les différentes technologies pour être capables de travailler dans une plus grande gamme de sols (ex : Water jetting + trancheuse mécanique).

## Le water-jetting

Adapté aux fonds meubles de type sable ou vase, il s'agit d'ensouiller le câble en soufflant des jets d'eau ou d'air sous pression. En règle générale cette technique est mise en œuvre depuis un navire dédié. Sur le principe, cet ensouillage se fait au moyen d'un robot sous-marin (dénommé « ROV »), télécommandé depuis le navire, qui creuse un sillon grâce à un dispositif de jets sous pression.

Le sillon est creusé directement le long du câble (depuis un second navire), afin de lui permettre de glisser le câble au fond de la tranchée d'ensouillage par gravité. En fonction de la profondeur recherchée et de la nature des fonds marins, la largeur de tranchée peut être plus grande que la simple largeur du câble à ensouiller par effet d'affaissement des parois de la tranchée.

Dans de bonnes conditions, la vitesse d'avancement de cette technique peut aller entre 50 m/h et 200 m/h.

*Figure 46 : Illustration d'un ROV de jetting*



*Source : données 2013, LD-Travocean*

## Le charruage

L'ensouillage par charruage est la méthode la plus adaptée dans les sables grossiers et les sols présentant peu de cohésion : galets, graviers, voire cailloutis tendres. La technique de charruage peut être utilisée dans des sols constitués d'argile ou de roches fragiles comme certaines craies, voire certains types de sols rocheux si la charrue est équipée d'une dent pénétrante.

Le charruage utilise l'action tranchante d'un soc tiré depuis le navire câblé. Le câble est ensuite déroulé depuis le navire câblé, traverse la charrue par l'avant pour enfin être ensouillé jusqu'à une profondeur maximale d'environ 1,50 mètres.

A noter qu'il existe des charrues dites vibrantes qui permettent un passage dans des sols rocheux très fracturés ou des sols composés de lits de galets.

Le rendement de réalisation est variable en fonction de la nature du sol (entre 50 m/h et 150 m/h), mais son adaptabilité et sa faible maintenance en font la méthode d'ensouillage la plus utilisée.

Figure 47 : Illustration d'une charrue



Source : données 2013, Oceanteam

### Le tranchage

La méthode du tranchage est adaptée à des sols durs (roche ou cailloutis aggloméré). C'est la seule méthode permettant d'ensouiller les câbles dans les sols rocheux les plus durs mais elle reste également une possibilité pour les sols argileux.

Le tranchage est réalisé avec une trancheuse à roue ou chaîne, en fonction de la largeur de tranchée. L'engin est autopropulsé sur chenilles et la vitesse de progression du tranchage dépend de la dureté de la roche, de l'homogénéité du sol et de l'état de surface. Le coût de cette méthode d'ensouillage est plus élevé que pour les deux précédentes, à cause de la maintenance plus fréquente des outils de taille et de la vitesse plus faible qui est comprise entre 20 m/h et 100 m/h.

Figure 48 : Illustration d'une trancheuse mécanique à roue



Source : données 2013, LD-Travocean

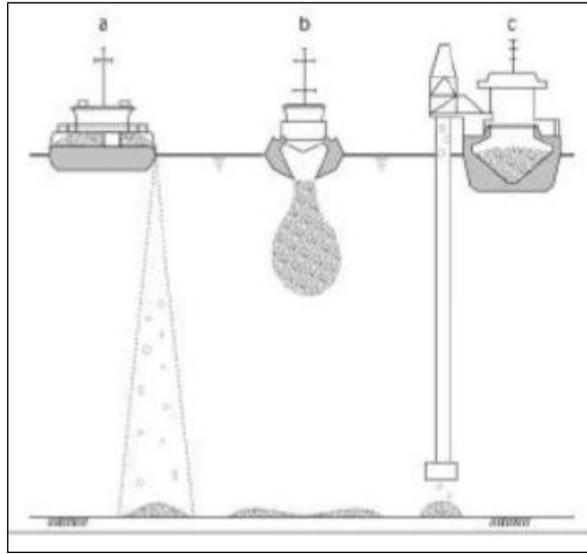
## LA PROTECTION DES CABLES A L'AIDE DE MOYENS EXTERNES

En cas d'impossibilité d'ensouiller, il sera fait recours à des moyens de protection externe. Les deux principaux sont détaillés ci-après.

### Le rock dumping

Le rock-dumping (ou enrochement) consiste à disposer des morceaux de roches sur les câbles à partir d'un navire dédié. Plusieurs techniques de déchargement existent : déchargement des roches par le côté du navire, déchargement des roches sous un navire ou barge à coques ouvrante, ou déchargement des roches par un tube flexible.

Figure 49 : Illustration des différents types de navire de rock dumping



Source : Van Oord, 2011

La hauteur de largage est directement liée au type de navire choisi.

Le rock-dumping assure une bonne protection contre les ancrages des gros navires et le chalutage. La hauteur de recouvrement définit le niveau de protection du câble. Afin d'éviter qu'un chalut ne rentre en opposition avec le bloc rocheux, la pente de ce dernier doit être la plus faible possible.

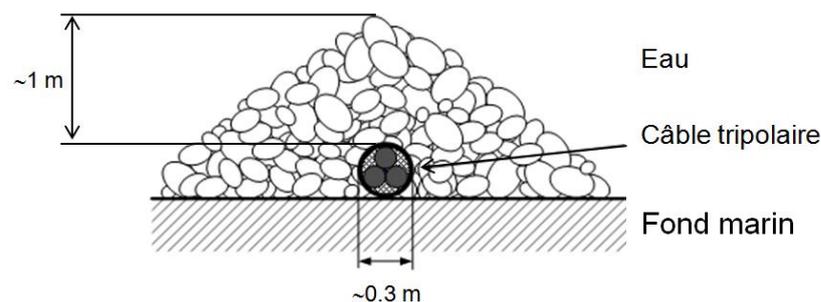
Le rock dumping peut être utilisé :

- pour assurer une protection complémentaire en cas de profondeur d'ensouillage non atteinte,
- pour protéger un câble non ensouillé.

C'est dans ce dernier cas que les dimensions sont les plus importantes, notamment en fonction du risque et de l'hydrodynamisme de la zone dont on veut se prémunir.

Dans le cas de l'utilisation de ce moyen de protection, des études seront menées par le prestataire de rock dumping pour assurer un design qui résiste aux conditions hydrodynamiques de la zone et respecte les usages maritimes. Cette étude déterminera la taille et la nature des roches, les dimensions précises (hauteur et pentes) du cordon d'enrochement afin de concevoir un enrochement assurant une protection suffisante mais dont le profil s'intègre par ailleurs au profil du fond marin sur lequel il sera posé. Le schéma ci-après présente un profil d'enrochement de principe pour le raccordement du parc éolien en mer de Fécamp.

Figure 50 : Design de principe pour la protection par enrochement des liaisons de raccordement du parc éolien en mer de Fécamp



### Le matelas béton

Lorsque l'ensouillage n'est pas adapté, il est également possible de procéder à la mise en place de matelas en béton permettant une protection totale du câble par recouvrement.

Figure 51 : Exemple d'un matelas béton



Source : données RTE, 2013

Le principe de protection par matelas béton est similaire à celui du rock dumping. Il s'agit de recouvrir une partie du câble laissée nue par des éléments assurant sa protection.

### **SECURITE EN MER DURANT LES OPERATIONS DE POSE DU CABLE**

Durant la totalité des travaux, la zone est sécurisée conformément aux instructions de la préfecture maritime (PREMAR) et interdite à la navigation grâce à l'utilisation de balises cardinales délimitant la zone d'intervention. L'information est également diffusée via les autorités maritimes. De plus, des navires légers peuvent être chargés de patrouiller autour de la zone de chantier. Les mesures de surveillance précises sont intégralement à la charge du maître d'ouvrage mais elles seront définies avant le démarrage du chantier en lien avec la PREMAR.

Si les conditions météo se dégradent, les travaux sont arrêtés pour assurer leur déroulement dans les conditions optimales de sécurité.

### 2.3.1.3 L'atterrage de la liaison

#### **CHAMBRE DE JONCTION A L'ATTERRAGE**

Les câbles sous-marins et terrestres étant différents, une transition est nécessaire. Cette transition est effectuée juste après le passage de l'estran dans une chambre de jonction (aussi appelée « chambre de transition souterraine »). Chacune des deux chambres de jonction (une pour chaque circuit électrique), comparable à un coffre maçonné d'une dimension d'environ 20m x 6m x 3m (L x l x H), sera enterrée et non visible, hormis la trappe d'accès. Seront également installées à proximité, deux chambres de jonction spécifiques pour les câbles de télécommunication à fibres optique, d'une dimension d'environ 2 m x 1 m, 0,6 m (L x l x H).

L'emprise des travaux à l'atterrage comprendra l'emprise des fouilles des chambres de jonction précitées et l'emplacement des installations de chantier.

L'implantation des chambres de jonction, prévue sous la chaussée Levasseur au sud du chenal, implique de traverser soit le brise-lames sud protégeant le chenal d'accès au Port vis-à-vis de la houle et des tempêtes, soit la plage sur sa partie jouxtant ledit brise-lames.

Une fois les chambres de jonction réalisées, la chaussée sera reconstituée à l'identique.

Une interruption de la circulation chaussée Levasseur sera nécessaire pendant les travaux.

*Photo 5 : Photographies de la zone d'implantation des chambres de jonction dans la chaussée Levasseur, jusqu'à son extrémité au niveau du mur de soutènement du brise-lames*



Source : RTE, 2014

## **MISE EN PLACE DES CABLES POUR L'ATERRAGE A FECAMP**

A l'atterrage, les câbles seront éventuellement entourés d'un fourreau et enterrés dans deux tranchées ou dans des trous issus de forages dirigés. Pour les tranchées, la profondeur de l'ouvrage sera alors comprise entre environ 1m et 3,80 m (soit une hauteur de couverture au-dessus des câbles d'environ 80 cm à 3,50 m). La profondeur serait supérieure en cas de forages dirigés.

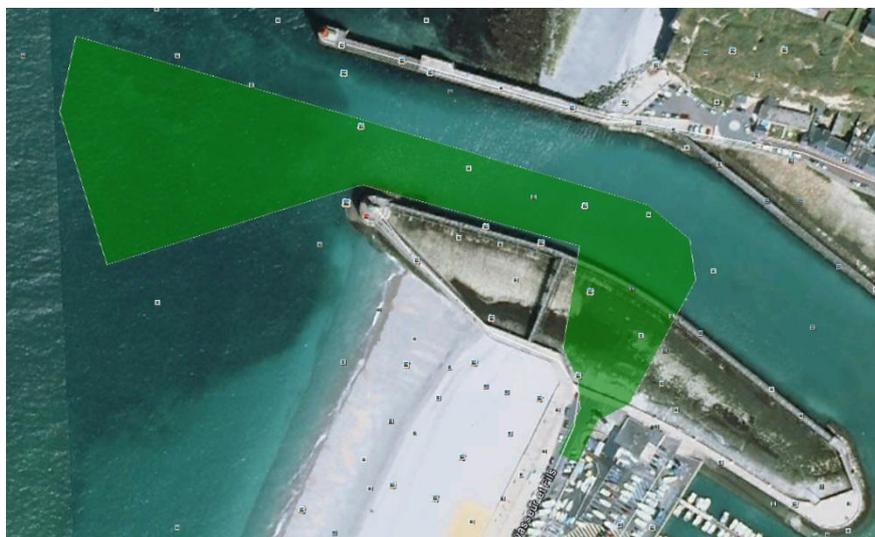
Au stade actuel du projet, trois solutions techniques restent envisagées :

- Atterrage en tranchée par le chenal ;
- Atterrage en forage dirigé par le musoir sud ;
- Atterrage en forage dirigé sous la plage près du musoir sud.

### **SOLUTION 1 : L'ATERRAGE EN TRANCHEE PAR LE CHENAL**

#### **Tracé des câbles**

*Figure 52 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles par le chenal*



*Source : RTE, 2014*

Dans le corridor défini pour cette solution à l'atterrage, le tracé des câbles :

- part des chambres de jonction d'atterrage sous la chaussée Levasseur,
- franchit le mur de soutènement en tête de perré,
- chemine sur le perré,
- franchit le pied de perré (avec éventuellement démontage temporaire de l'estacade en bois),
- chemine dans le chenal avant d'en sortir pour rejoindre le tracé en mer.

Le franchissement du perré pourra être réalisé en tranchée ou en sous-œuvre (partiellement ou sur toute la longueur).

#### **Pose et protection des câbles**

Dans le chenal, les câbles sous-marins seront ensouillés. L'ouvrage réalisé laissera une marge par rapport à la cote actuelle à laquelle le chenal est dragué. Le principe de l'opération est le suivant :

- Si besoin, dragage à la cote de dragage actuelle du chenal ;
- Creusement des tranchées à l'aide d'une pelle installée sur un engin de type « ponton-deeper » ;

- Installation de deux buses en béton (diamètre extérieur environ 1,20 m) à l'intérieur desquelles seront installés les fourreaux dans lesquels seront ensuite tirés les câbles.

Le tracé des câbles sera positionné à une distance suffisante des ouvrages et des palplanches pour ne pas dégrader leur stabilité.

En accord avec le gestionnaire du port, les matériaux extraits excédentaires pourront être évacués dans la zone de clapage utilisée par le port de Fécamp pour les opérations habituelles de dragage.

Lorsque les travaux seront terminés, le perré, l'estacade et le mur de soutènement ainsi que la chaussée Levasseur seront remis en état à la charge de RTE.

### Trafic dans le chenal

L'emprise dans le chenal sera réduite autant que possible de manière à maintenir pendant la plus grande partie des travaux une passe navigable le long du brise-lame nord. Les moyens maritimes utilisés pour les travaux devront pouvoir se replier dans un délai réduit. Une zone de repli dans l'emprise du port sera définie avec les autorités portuaires.

Lors de la phase de déroulage des câbles, l'accès au port devra être interrompu. Un contact sera pris en avance avec les autorités compétentes afin de s'accorder sur ce point.

## **SOLUTION 2 : L'ATERPAGE EN FORAGE DIRIGE SOUS LE MUSOIR**

### **TRACE DES CABLES**

*Figure 53 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles sous le musoir*



*Source : RTE, 2014*

Dans le corridor défini pour cette solution à l'atterrage, le tracé des câbles :

- part des chambres de jonction d'atterrage sous la Chaussée Levasseur,
- franchit le mur de soutènement en tête de perré,
- chemine sous le perré puis passe sous le musoir dans un forage dirigé,

- ressort au niveau du fond marin pour rejoindre le tracé en mer.

## **POSE ET PROTECTION DES CABLES**

Le franchissement du perré pourra être réalisé en tranchée ou en sous-œuvre (partiellement ou sur toute la longueur). Le passage sous le musoir sera réalisé en forage dirigé.

La plateforme de forage dirigé sera créée sur la partie haute du perré soit à un niveau d'environ 8 m au-dessus du niveau de la pleine mer de vives eaux afin de limiter le risque de submersion dans les situations de haute mer. Les travaux seront, dans la mesure du possible effectués à une période météo favorable (printemps ou automne). En cas de tempête, les engins seront repliés ou confinés et les boues et déblais enlevés ou confinés.

Pour le passage sous le musoir, la conception du forage dirigé intégrera les ouvrages existants afin d'en garantir la stabilité et passera sous les palplanches du brise-lames.

## **TRAFIC MARITIME AU NIVEAU DU PORT**

Les travaux auront un impact très réduit sur le trafic maritime. Lors de la phase de déroulage des câbles, l'accès au port devra être interrompu.

## **DESCRIPTION SUCCINCTE DES OPERATIONS ET MOYENS MIS EN ŒUVRE**

Une plateforme de forage accueillera au minimum :

- la machine de forage,
- les tiges de forage,
- une grue,
- une fosse de boue,
- une station de traitement des déblais avec des bennes pour récupérer les déblais.

A ceci s'ajoutent les locaux de chantier et la zone de stockage des matériels qui pourront toutefois être situés sur une autre aire voisine.

Un point de sortie en mer est nécessaire pour récupérer la tige foreuse du tir pilote et la remplacer par l'alésage. Cet alésage permet, une fois le premier tir (« tir pilote ») effectué, d'accroître le diamètre du forage à la taille voulue. L'alésage nécessite plusieurs passes successives, toujours réalisées de la mer vers la terre.

L'évacuation des déblais est assurée par remontée des cuttings sous pression de boue bentonitique. Les déblais sont récupérés pour traitement au niveau de la fosse à boue sur la plateforme à terre sans qu'il n'y ait de rejet des eaux de surverse.

Une fois assemblés, les fourreaux sont tirés en mer jusqu'au point de sortie lors de la dernière passe d'alésage. Les fourreaux doivent être immergés par lestage ou par remplissage avec de l'eau. Ils pourront être remplis d'un coulis à caractéristique thermique pour améliorer les conditions de fonctionnement des liaisons électriques.

Les deux forages dirigés seront réalisés avec le même matériel de forage. Par conséquent, ils seront exécutés successivement.

Lorsque les forages dirigés seront terminés, la plateforme de travail pourra être démontée et le perré, l'estacade et le mur de soutènement ainsi que la chaussée Levasseur seront remis en état.

### **SOLUTION 3 : L'ATTERRAGE SOUS LA PLAGES**

Selon la faisabilité et les capacités des entreprises, une solution alternative ne peut être exclue à ce stade. Elle semble toutefois peu probable car de fortes contraintes sont à prendre en compte :

- modifications du profil de la plage (hauteur de galets très variable), fortes pentes et manque de stabilité,
- nécessité de passer le perré situé en haut de plage (dont un système de palplanches),
- des valeurs de résistivité thermique élevées pour une plage de galets.

*Figure 54 : Illustration du corridor d'arrivée des câbles sous la plage*



*Source : RTE, 2014*

La profondeur d'ensouillage serait définie de manière à ce que le sommet de l'ouvrage à l'endroit de la plage et de l'estran ne soit pas mis à nu par les variations saisonnières.

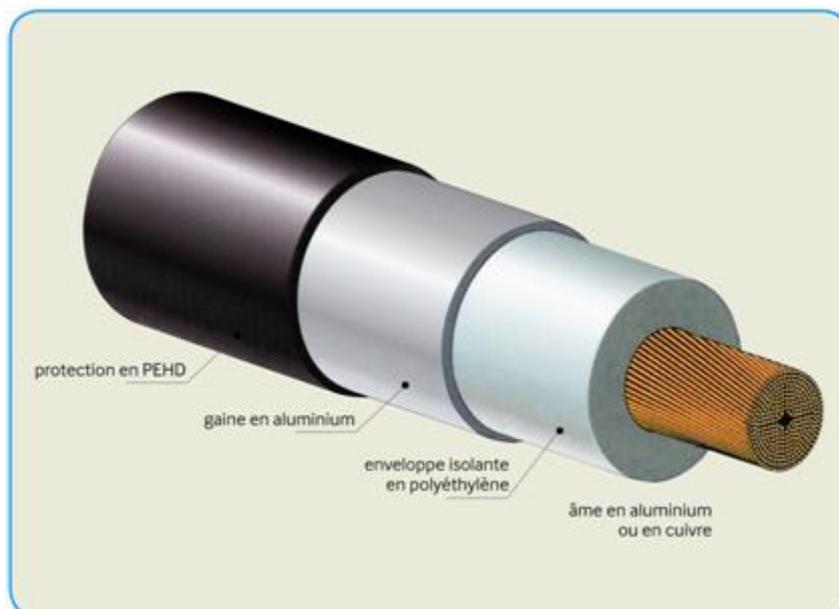
## **2.3.2 Liaison souterraine**

### ***2.3.2.1 Description et caractéristiques des câbles souterrains***

Une liaison électrique souterraine de transport d'électricité est composée, pour chaque circuit, de trois câbles unipolaires indépendants et de un à deux câbles de télécommunications à fibres optiques. Les câbles comprennent une âme conductrice en aluminium ou en cuivre entourée d'isolant synthétique et d'écrans de protection.

Le diamètre de ces câbles est d'environ 13 cm.

Figure 55 : Exemple de structure d'un câble conducteur isolé à haute-tension



Source : RTE, 2014

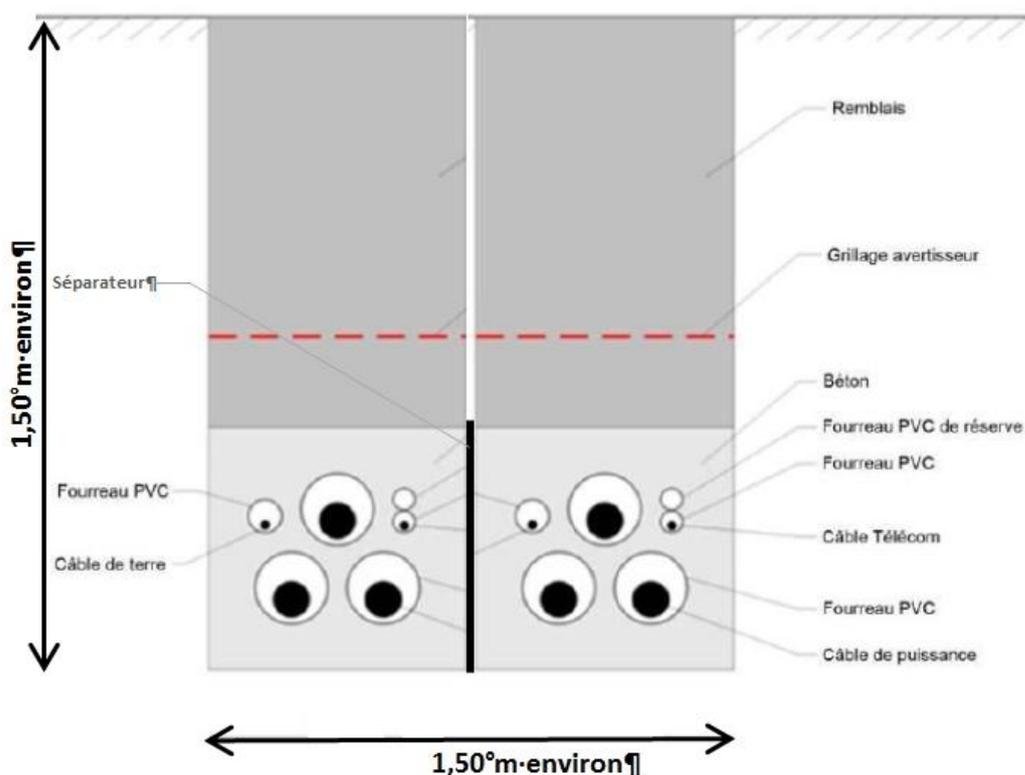
### 2.3.2.2 Modes de pose et de protection des câbles souterrains

#### LA POSE EN FOURREAUX PVC ET BETON

C'est ce type d'ouvrage qu'il est prévu de réaliser sur la majorité du tracé. En effet, il sera réalisé pour le passage sous chaussée ou dans les zones à fort encombrement du sous-sol sur le tracé de Fécamp jusqu'au poste de Sainneville, et du poste de Sainneville jusqu'au poste de Pont-Sept avec seulement un ouvrage à un seul circuit sur cette partie.

Ce mode de pose consiste à réaliser une tranchée, y installer les fourreaux en polychlorure de vinyle (PVC) puis à les enrober de béton. Les câbles sont ensuite déroulés dans les fourreaux. Un grillage avertisseur est positionné au dessus de cet ouvrage. La tranchée est remblayée jusqu'au niveau du terrain naturel ou de la chaussée qui est reconstituée.

Figure 56 : Coupe de principe d'un bloc fourreaux PVC-béton d'une liaison souterraine à deux circuits (cotes indicatives).



Source : RTE, 2014

La largeur de la tranchée nécessaire à l'installation de l'ouvrage est d'environ 1,50 m pour la partie où la liaison est à double circuit. Elle est deux fois moindre (environ 0,75 m) pour une liaison à un seul circuit.

### **DES CHAMBRES DE JONCTION SUR LE TRACE**

A leur fabrication en usine, les câbles sont enroulés sur des tourets par tronçons d'une longueur d'environ 1 000 mètres. Il convient donc, tous les 1 000 mètres environ, de raccorder ces tronçons de câble entre eux, ce qui est fait au niveau des chambres de jonction. Ces chambres de jonction sont des coffres maçonnés souterrains de dimensions d'environ 12 m (L) x 3 m (l) x 1 m (H) et recouvertes d'au moins un mètre de remblais.

Figure 57 : Exemple d'une chambre de jonction pour une liaison à un seul circuit 225 000 volts



Source : RTE, 2014

Ces jonctions peuvent être complétées par des regards en béton souterrains de petite taille (surface entre 2 et 3 m<sup>2</sup>, profondeur entre 1 à 1,3 mètre). Ces regards servent à la gestion de la mise à la terre de la liaison souterraine et doivent rester visitables.

### **LE CADENCEMENT DU CHANTIER**

Il est conditionné par l'environnement de travail, le mode de pose, les difficultés techniques, les mesures écologiques à respecter et les aléas.

La durée des travaux de réalisation des ouvrages de génie-civil des liaisons souterraines est de l'ordre de 50 à 70 mètres par semaine en zone fortement urbanisées comme Fécamp. En revanche sur une route départementale en pleine campagne sans difficultés particulières, l'avancement peut aller jusqu'à 200 mètres par semaine.

Les opérations de pose d'une liaison électrique souterraine de type PVC-béton sur un tronçon de voirie se déroulent comme suit.

1. Après balisage des emprises du chantier, la chaussée est découpée ou le sol décapé afin d'ouvrir la tranchée et les chambres de jonction. Les fouilles sont sécurisées par blindage des parois. Les matériaux des déblais sont, soit mis en cordon le long de la tranchée, soit stockés en dehors de l'emprise du chantier, soit évacués en décharge s'il y a lieu.



2. Les fourreaux PVC sont ensuite installés dans la tranchée, puis enrobés de béton.



3. Les tourets de câbles sont ensuite amenés près des chambres de jonction préalablement au déroulage.



4. La tranchée est ensuite remblayée et le grillage avertisseur posé.



5. Le remblaiement de la tranchée est alors complété avec le sol d'origine (si passage en milieu naturel) ou la chaussée refaite (si passage sous voirie).

Le déroulage des câbles est fait depuis une chambre de jonction positionnée autant que possible au sein des accotements d'une voirie.

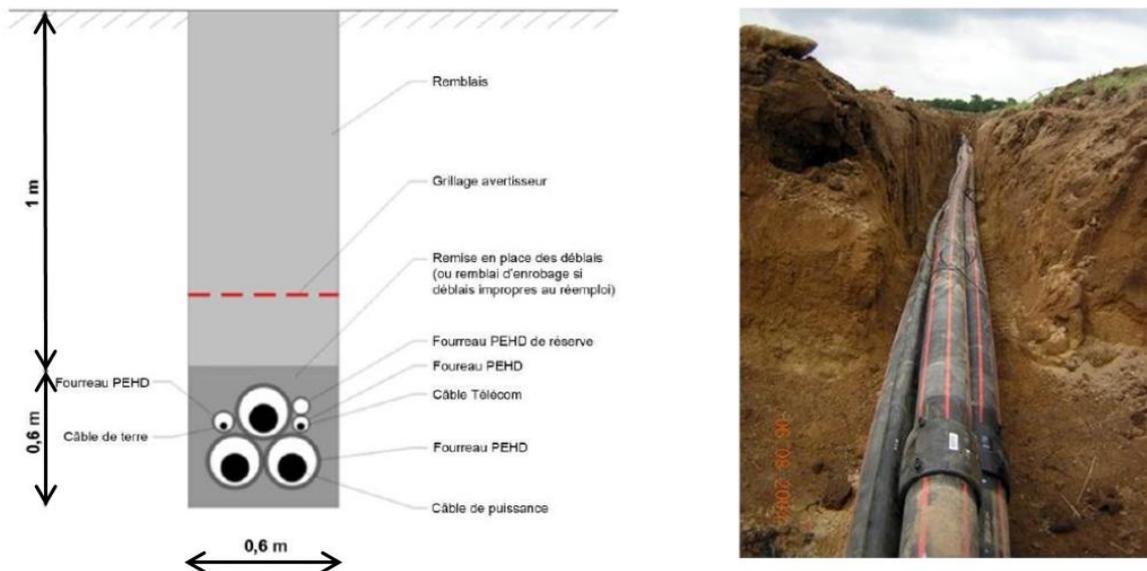


## LA POSE EN FOURREAUX PEHD PLEINE TERRE

Ce mode de pose est prévu pour le passage en pleine terre en zones agricole et naturelle. Il sera utilisé en particulier pour la traversée de la zone naturelle d'Harfleur sur une longueur d'environ 1 kilomètre.

Cette technique consiste à réaliser une tranchée, y installer des fourreaux en polyéthylène haute densité (PEHD) en pleine terre, dans lesquels les câbles sont déroulés. Un grillage avertisseur est positionné au dessus de cet ouvrage. La tranchée est remblayée jusqu'au niveau du terrain naturel.

Figure 58 : Coupe de principe d'un bloc fourreaux PEHD d'une liaison souterraine à un circuit (cotes indicatives) en pleine terre



Source : RTE, 2014

## DES CHAMBRES DE JONCTION SUR LE TRACE

Les caractéristiques de chambres de jonction sont similaires à celles décrites dans le chapitre précédent relatif à la pose en fourreaux PVC-béton.

## LE CADENCEMENT DU CHANTIER

Il est conditionné par l'environnement de travail, le mode de pose, les difficultés techniques, les mesures écologiques à respecter et les aléas. L'avancement peut aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres par semaine pour une pose en zones agricoles ou naturel sans obstacles particuliers.

Le chantier de pose de la liaison souterraine à 225 000 volts nécessite une succession de diverses opérations similaires à celles décrites dans le chapitre précédent relatif à la pose en fourreaux PVC-béton, hormis la pose de béton.

Figure 59 : Exemple de pose de fourreaux PEHD pleine terre



Source : RTE, 2014

### **LE FORAGE DIRIGÉ**

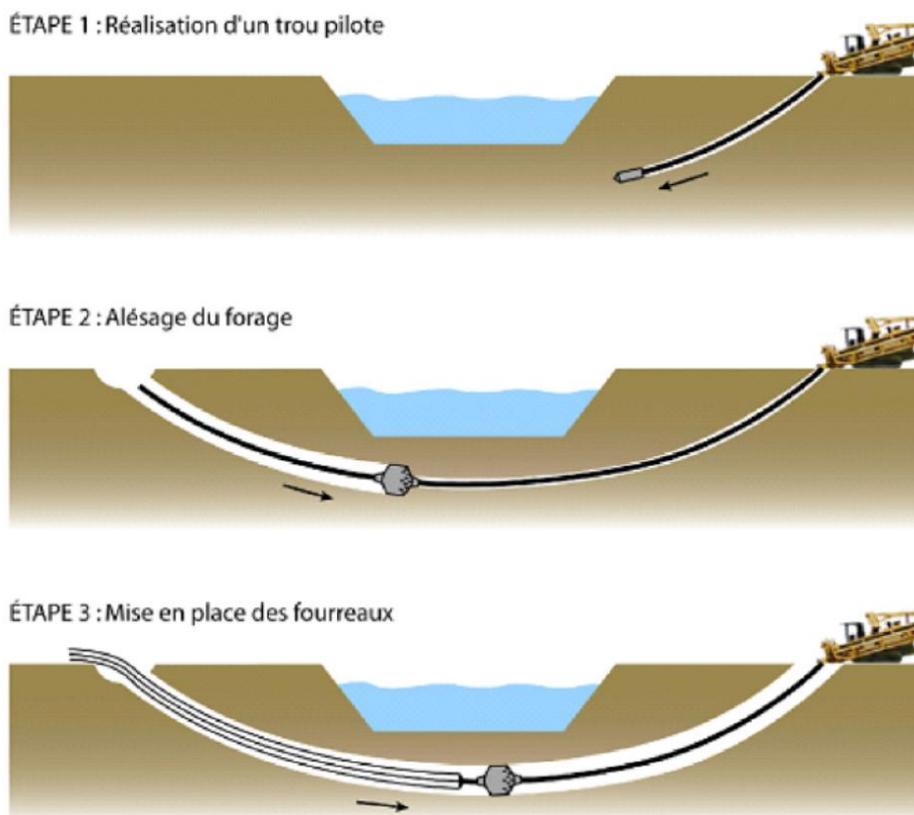
Le forage dirigé est utilisé pour le franchissement de certains obstacles naturels (rivières) ou sous certaines infrastructures (route, carrefour routier, voie ferrée ...) quand l'installation de la liaison ne peut pas se faire via une tranchée ouverte.

Un forage dirigé est réalisé en trois étapes :

- la réalisation d'un trou pilote depuis un côté de la structure à traverser qui consiste à créer un forage de petit diamètre qui servira de guide pour l'étape suivante,
- l'alésage du forage à partir du point opposé de la structure à traverser. Cette étape permet d'aboutir au diamètre final attendu,
- enfin, la mise en place des fourreaux dans le forage réalisé.

Ces étapes sont résumées dans la figure suivante.

Figure 60 : Schémas de principe de la technique du forage dirigé



Source : RTE, 2013

Les points d'entrée et de sortie du forage sont positionnés, entre autres, en fonction de la configuration et de la sensibilité du site. La courbure d'un forage dirigé dépend elle à la fois des caractéristiques du sol, de la profondeur et de la longueur de l'obstacle à franchir.

La machine ou foreuse est placée à l'entrée du forage avec le système de mélange du fluide de forage (coulis de bentonite<sup>5</sup> qui est injecté dans le trou et qui sert à lubrifier l'outil et à transporter les débris de roches forées jusqu'en surface). Le fluide est récupéré à l'autre extrémité du forage dans une fosse étanche pour éviter son écoulement vers le réseau hydrographique.

L'entrée du forage nécessite une installation de chantier un peu plus importante pour positionner les machines de forage. En revanche à la sortie, l'emprise du chantier est sensiblement la même que pour les travaux de génie civil en pose courante.



Au stade actuel d'avancement des études, il est prévu d'utiliser cette technique :

- pour le passage du nœud routier et ferroviaire sur Harfleur-Le Havre,
- pour la traversée la rivière de la Lézarde sur Harfleur.

D'autres carrefours routiers à grande circulation pourront être concernés.

<sup>5</sup> La bentonite est une argile naturelle contenant une forte proportion de montmorillonite, un silicate d'aluminium hydraté natif dans lequel quelques atomes d'aluminium et de silice ont été remplacés naturellement par d'autres atomes tels que le magnésium et le fer.

La durée de réalisation d'un forage dirigé d'une longueur moyenne de l'ordre de 150 mètres, dans des conditions normales et sans aléas, est d'environ trois semaines.

### 2.3.3 Extension du poste de raccordement de Sainneville

Le poste électrique à 225 000 volts de SAINNEVILLE se présente actuellement comme un lieu clôturé comprenant des matériels électriques à haute et à basse tension, des charpentes et des bâtiments, installés sur une plateforme gravillonnée.

Il comporte notamment les éléments principaux suivants :

- deux transformateurs 225 000/90 000 volts, entourés de murs pare-feu et pare-son,
- des installations électriques aériennes, munies de charpentes, équipées de dispositifs de protection, de commande et de mesure,
- des bâtiments accueillant les dispositifs de surveillance des éléments constituant le poste.

Il est nécessaire d'étendre ce poste afin d'ajouter les équipements indispensables à l'accueil de la production d'électricité issue du parc éolien en mer au large de Fécamp.

En particulier, seront installés dans la partie de l'extension du poste :

- deux appareils permettant de régler la tension sur la liaison sous-marine et souterraine, appelés «survolteur-dévolteur»,
- un appareil permettant de compenser l'effet dit « capacitif » des câbles sous-marins et souterrains, appelé «bobine inductance shunt»,
- un appareil permettant d'assurer la qualité de fourniture d'électricité, appelé « batterie de condensateur »,
- des bâtiments accueillant les dispositifs de surveillance des éléments constituant le poste.

Figure 61 : Principe d'extension du poste de SAINNEVILLE



Source : RTE, 2014

## 2.3.4 Exploitation et maintenance

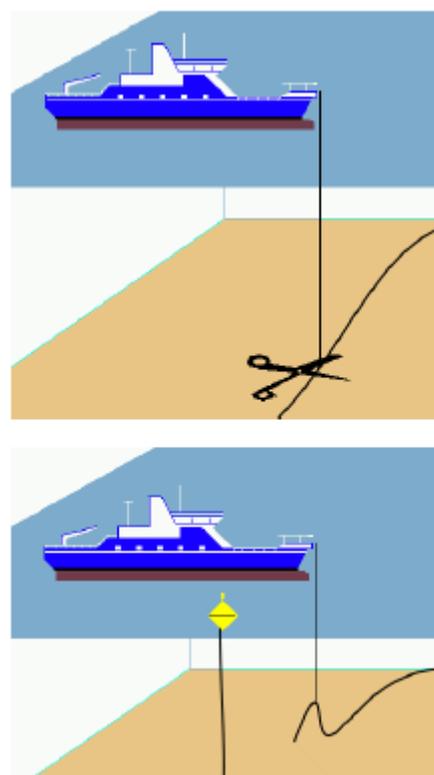
### 2.3.4.1 Liaison sous-marine

Du fait de sa conception, un câble sous-marin n'est pas assujéti à des opérations de maintenance préventive. Toutefois, des contrôles de l'état de protection des câbles de raccordement seront effectués. Cette vérification consistera en une étude géophysique permettant de contrôler la position des câbles et la configuration du fond marin à leurs abords. Une première vérification du tracé sera réalisée 1 an après la mise en service. La fréquence des éventuelles visites ultérieures ira de 3 à 10 ans selon les résultats de la première vérification et les risques identifiés (courants, dunes, hauteur d'eau, événements météorologiques exceptionnels...).

En cas de croche du câble, les opérations de maintenance curative sont décrites comme suit.

Bien que très peu fréquents, la très grande majorité des défauts a pour origine une croche du câble par une ancre ou un engin de pêche. Ces risques sont surtout présents en pleine mer, les risques à l'atterrage sont plus limités. Pour un défaut situé en pleine mer, la réparation peut prendre un temps variable en fonction de la durée d'affrètement du navire de pose.

- Lorsque le défaut sur le câble est localisé, une première coupe du câble intervient pour isoler la partie endommagée du câble non endommagé.
- Un test est effectué sur l'extrémité ainsi créée afin de vérifier que les caractéristiques électriques, optiques et mécaniques sont intègres jusqu'à l'atterrage. Si ce n'est pas le cas, c'est qu'un autre défaut est présent, ce défaut doit donc être trouvé avant la suite de la réparation.
- Un test est effectué sur l'extrémité ainsi créée afin de vérifier que les caractéristiques électriques, optiques et mécaniques sont intègres jusqu'à l'atterrage. Si ce n'est pas le cas, c'est qu'un autre défaut est présent, ce défaut doit donc être trouvé avant la suite de la réparation.
- Lorsque l'on est certain d'avoir supprimé toute la partie endommagée, la fabrication de la première jonction peut commencer. Cette opération est longue (entre 1 et 3 jours) et nécessite que le bateau reste très stable. Lorsque la jonction est réalisée, un test électrique dit « Time Domain Reflectometry » (TDR) ou un test optique dit « Optical Time Domain Reflectometry » (OTDR) est effectué pour s'assurer de la réussite de l'opération.
- La partie du câble réparée est ensuite reposée le long de la route initiale, jusqu'à l'autre extrémité (qui est prête à recevoir la réparation).
- La même opération est alors effectuée. Après la réparation de la deuxième partie du câble, un test sur toute la longueur de la liaison est effectué. S'il est concluant, alors le câble peut être redéposé.
- Cependant, la réparation provoque une surlongueur importante (a minima deux fois la profondeur) et le câble ne peut être redéposé de la même manière qu'initialement. La surlongueur est donc reposée à 90° par rapport à l'axe de la liaison initiale.
- Les éventuelles opérations de protection du câble sont effectuées par la suite.



Il faut compter entre 15 et 25 jours d'opérations en mer pour la réparation du câble, à partir d'un moyen maritime de pose de câble léger. Les mesures de sécurité prises sont édictées par la PREMAR et devraient être les mêmes que pendant les opérations de pose et protection initiale. Si un ré-ensouillage est nécessaire, les techniques mises en œuvre et les moyens associés sont ceux décrits au paragraphe 3.3.1.

### **2.3.4.2 Liaison souterraine**

Une surveillance régulière de l'ouvrage et de son environnement est assurée.

La probabilité de défaillance d'une liaison électrique souterraine est quasi-nulle.

### **2.3.4.3 Poste électrique**

Le poste électrique SAINNEVILLE sera maintenu en exploitation selon les règles de l'art.

## **2.3.5 Démantèlement**

### **2.3.5.1 Liaison sous-marine**

#### **EFFETS GENERIQUES DU DEMANTELEMENT D'UNE LIAISON SOUS-MARINE**

Conformément aux dispositions législatives et réglementaires actuellement en vigueur, au terme des titres d'occupation des sites maritimes par la liaison sous-marine de raccordement du parc éolien mer des hautes falaises, ceux-ci seront remis en état dans le cadre du démantèlement de ces installations.

#### **MODALITES TECHNIQUES DE DEPOSE D'UNE LIAISON SOUS-MARINE**

Actuellement la méthodologie d'enlèvement des câbles est assez proche de l'inverse de celle appliquée pour lors de la pose. Ces travaux de démantèlement impliquent les opérations suivantes :

- l'ouverture de la tranchée pour le désensouillage à l'aide de moyens équivalents à l'ensouillage ;
- le retrait des protections externes si elles ont été installées lors de la pose des câbles ;
- la récupération du câble en l'enroulant ou en le débitant sur un navire ;
- la revalorisation des matériaux (cuivre, acier...) suivant les procédés favorisant la réutilisation, la régénération, le recyclage et traitement des déchets résiduels dans les filières industrielles adaptées.

L'ensemble de ces opérations qui inclut la gestion de la sécurité en mer sera réalisé suivant les meilleures conditions environnementales, techniques et économiques dans le respect de la réglementation en vigueur au jour du démantèlement.

#### **ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU DEMANTELEMENT**

Les impacts associés aux opérations de démantèlement sont assez semblables à ceux liés à la pose des câbles qui sont explicités dans la présente étude d'impact.

Par ailleurs, la présence physique d'un câble, lorsqu'il est posé et protégé (matelas, rochers...), aura probablement permis l'installation progressive et durable d'un habitat nouveau. Le démantèlement pourrait alors causer des perturbations sur la faune plus importantes que la phase d'installation avec une perte locale de la biodiversité, de site de nourriture et d'une zone de refuge pour de nombreuses espèces. Ce sont des éléments à intégrer lors des réflexions et investigations préalables au démantèlement.

#### **EFFETS GENERIQUES DU MAINTIEN EN L'ETAT D'UNE LIAISON SOUS-MARINE**

Les câbles ont une très faible emprise spatiale et sont composés de matériaux inertes. Le maintien en l'état d'une liaison sous-marine présente les effets et impacts éventuels similaires à ceux de la phase d'exploitation de la liaison explicités dans l'étude d'impact du projet.

#### **NECESSITE DE S'INTERROGER SUR LE DEVENIR DE LA LIAISON SOUS-MARINE**

A ce stade et au regard des éléments explicités dans les paragraphes précédents, il est difficile d'anticiper les décisions qui seront prises sur le devenir des liaisons sous-marines mises hors service (démantèlement ou maintien en l'état).

Afin de déterminer la solution de moindre impact environnemental et d'optimiser les conditions du démantèlement éventuel, RTE réalisera une étude avant toute intervention sur la liaison sous-marine.

Cette étude permettra notamment d'identifier les peuplements benthiques situés sur le linéaire de la liaison de raccordement et d'intégrer les dernières évolutions techniques au regard de la réglementation en vigueur au jour du démantèlement.

Au vu du résultat de ces investigations et en fonction des enjeux tant, écologiques que socio-économiques, il appartiendra à l'autorité administrative décisionnaire de définir la meilleure solution sur le devenir de la liaison sous marine.

Après le démantèlement, RTE s'engage à mettre à disposition de l'administration un plan des éléments des parties d'ouvrage laissé éventuellement en lieu et place. Ces informations seront transmises au format cartographié informatique afin d'alimenter le cas échéant les bases de données du Service hydrographique de la marine nationale (SHOM) et mettre à jour les cartes nautiques.

### 2.3.5.2 Liaison souterraine

A la fin de sa durée de vie, la liaison souterraine sera mise hors conduite ou hors exploitation.

## 2.4 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA BASE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE

### 2.4.1 Principe et aménagements du projet

Cette base dédiée à la maintenance courante du champ se divise en deux zones :

- Une zone de bâtiments techniques et administratifs ;
- Des postes d'amarrage qui devront pouvoir accueillir 3 navires (adaptation des postes existants).

Figure 62 : vue d'artiste de la future base de maintenance

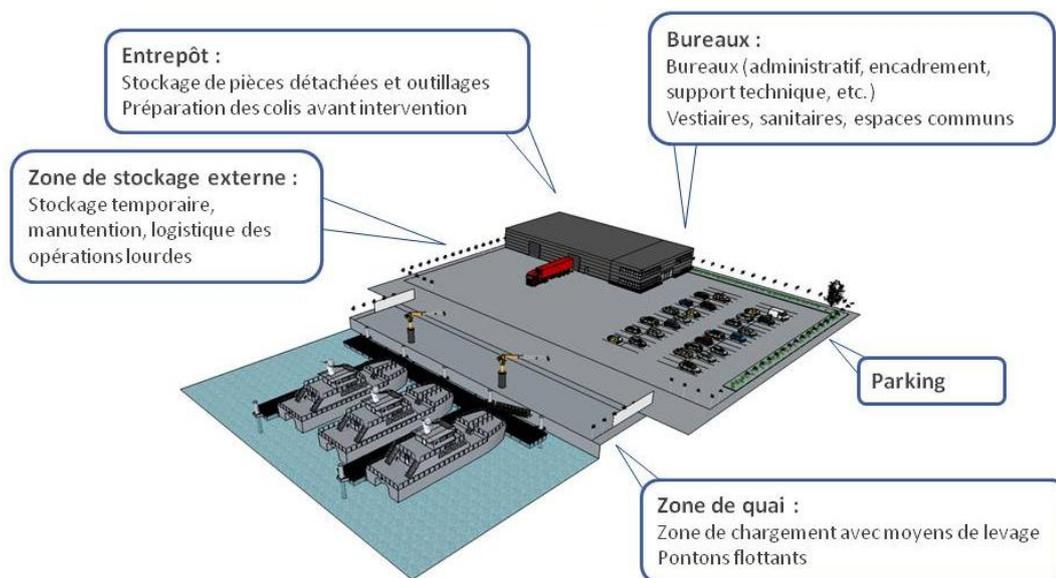


Schéma type d'une base de maintenance éolienne  
Le rendu ne présume pas à l'aspect définitif de la base de Fécamp

Source : EOHF, 2014

### **2.4.1.1 Description des aménagements de la partie terrestre de la base de maintenance**

La zone de bâtiments techniques et administratifs accueille l'équipe en charge de l'entretien des éoliennes, de la sous-station électrique en mer et des autres éléments constituant le parc (câbles, fondations...). Cette zone sécurisée et accessible 24h/24 - 7j/7 comprend :

- Une zone (surface d'environ 1 400 m<sup>2</sup> en R+2) pour des bureaux, un local conduite, un local serveur informatique, des salles de réunion, un local archives, un réfectoire, des sanitaires, des vestiaires et des douches. Cette partie pourrait éventuellement être répartie en R+1 (rez-de-chaussée et un étage) ou R+2 (rez de chaussée de deux étages - hauteur totale d'environ 14m) ;
- Une zone (surface d'environ 950 m<sup>2</sup>) de stockage : pièces de rechange sur rayonnages métalliques, équipements de protection individuelle, déchets, atelier pour petits travaux de réparation, local technique et zones de manutention... Le bâtiment aura une hauteur d'environ 13,7 m.
- Une zone (surface d'environ 1 500 m<sup>2</sup>) utilisée pour le déploiement de la logistique des opérations lourdes exceptionnelles (construction modulaire, stockage de matériel, etc.), et utilisée comme aire de parking en dehors de ces périodes ;
- Des espaces de dégagement nécessaires pour des poids-lourds et pour la circulation fluide des différents flux (véhicules routiers, chariots élévateurs, piétons...).

Le bâtiment sera occupé en horaires de jour en continu par environ 60 personnes<sup>6</sup> (coordinateurs des activités et de la logistique, techniciens, personnel extérieur).

La route du « Quai du Halage » sera réduite. Une servitude de passage sera mise en place pour permettre la circulation des engins mobilisés par la CCI Fécamp-Bolbec dans le cadre de la maintenance des infrastructures portuaires.

Le trafic routier généré par la base en phase d'exploitation sera d'environ :

- 60 voitures par jour (principalement le matin vers 8h et le soir vers 18h) ;
- 2 poids lourds par semaine.

### **2.4.1.2 Description des postes d'accostage**

#### **FONCTIONNEMENT - PRINCIPE**

Le projet de base de maintenance prévoit trois postes d'amarrage pour des navires de maintenance (adaptation des postes existants).

Les navires sont amarrés, perpendiculairement au quai de la pêche côtière, sur deux pontons. L'accès au ponton se fait par une passerelle similaire à la passerelle existante, articulée sur le quai existant et guidée par des rails sur le ponton. A noter que le projet intègre la poursuite de l'activité de débarque des bateaux de la pêche côtière.

La pilotine et la vedette SNSM disposent d'espaces réservés le long du ponton sud. De plus, les postes sont positionnés de façon à laisser libre un linéaire de 25 m du quai de pêche.

<sup>6</sup> Au total, une centaine de personnes sera mobilisée pour l'opération et la maintenance du parc. Compte tenu des roulements nécessaires pour l'opérer 7j/7 et du personnel navigant non situé dans la base, cela représente environ 60 personnes présents sur site en continu en horaire de jour.

## CARACTERISTIQUES DES BATEAUX DE MAINTENANCE

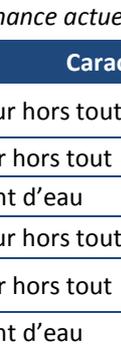
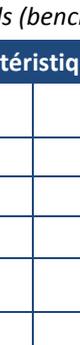
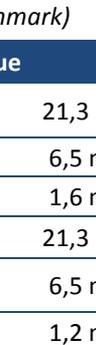
De nombreux modèles de navires de maintenance existent déjà sur le marché ou sont encore en développement. D'après le Germanisher Lloyd « GL – Mapping the Future in Offshore Wind - Wind Turbine Installation Ships and Wind Farm Service Vessels », les caractéristiques issues de benchmark sont les suivantes :

Tableau 15 : Caractéristiques types des navires de maintenance d'après le Germanisher Lloyd

Caractéristique	
Capacité	12 passagers
Longueur HT	30 m maximum
Largeur	12 m maximum
Tirant d'eau	2 m maximum
Vitesse max. typique:	25 knots
Propulsion typique	2 x 800 hp

A titre d'exemple, le tableau suivant présente les caractéristiques de différents navires actuellement en activités issues d'un benchmark réalisé à partir des sites internet [www.4C-Offshore.com](http://www.4C-Offshore.com) et [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) :

Tableau 16 : Caractéristiques types des navires de maintenance actuels (benchmark)

Navire (Nom ou modèle)		Caractéristique	
Gaillion		Longueur hors tout	21,3 m
		Largeur hors tout	6,5 m
		Tirant d'eau	1,6 m
Gardian 10		Longueur hors tout	21,3 m
		Largeur hors tout	6,5 m
		Tirant d'eau	1,2 m
Njord Avocet		Longueur hors tout	20,6 m
		Largeur hors tout	7,4 m
		Tirant d'eau	1,4 m
Waterfall		Longueur hors tout	16,0 m
		Largeur hors tout	6,4 m
		Tirant d'eau	1,6 m
Ellida Array		Longueur hors tout	18,0 m
		Largeur hors tout	6,0 m
		Tirant d'eau	1,0 m
WINDCAT 18		Longueur hors tout	18,0 m
		Largeur hors tout	6,0 m
		Tirant d'eau	2,0 m
Offshore West hinder		Longueur hors tout	21,0 m
		Largeur hors tout	7,4 m
		Tirant d'eau	1,5 m
GARDIAN 3		Longueur hors tout	18,0 m
		Largeur hors tout	6,0 m
		Tirant d'eau	1,0 m

## **INFRASTRUCTURES ENVISAGEES**

Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des aménagements maritimes envisagés :

*Tableau 17 : Principales caractéristiques des aménagements maritimes envisagés*

Pontons	Ponton flottant couissant sur des pieux			
		<b>Longueur</b>	<b>Largeur</b>	<b>Charge utile</b>
	Deux pontons	~ 32-35 m	3 m	500 kg/m <sup>2</sup>
	Linéaire total	~ 70m		
	Nombre de pieux pour l'ensemble des pontons flottants : 4 avec un diamètre de 1m environ			
Passerelle	Longueur : 18 m environ Massif d'ancrage / micro-pieux			
Equipements	Potences (capacité : 2T, portée : 20 m) pour chargement / déchargement pour chacun des trois postes Borne d'alimentation en eau et électricité			

## **EXPLOITATION DES INFRASTRUCTURES**

Les infrastructures maritimes sont destinées à l'accueil de 3 navires de maintenance, de la pilotine et du navire SNSM.

Le nombre de rotations cumulé de l'ensemble des navires de maintenance est estimé à 650/an en moyenne. Le créneau de mouvements des navires se situera principalement entre 8 h et 18 h, 7jrs/7. En fonction des conditions météorologiques et des marées, le départ des navires pourra être envisagé à partir de 7 h et le retour des navires décalé.

### **2.4.2 Aménagement architectural du projet**

#### **2.4.2.1 Contexte urbanistique et paysager**

La parcelle localisée sur la presqu'île entre l'avant et l'arrière port de Fécamp, est délimitée :

- A l'est par le Quai Joseph Duhamel.
- Au nord-est par le Quai du Halage.
- Au nord par le Quai Pêche Côtière.
- A l'ouest par la rue du Commandant Riondel.
- Au sud-ouest par une parcelle privative.
- Au sud-ouest par une parcelle appartenant à la CCI et une parcelle du Domaine Public Marin.

Les bateaux de la base de maintenance seront accostés en face du Quai du Halage.

Le site étant implanté dans un espace urbain, surplombé par le cap Fagnet et visible depuis le quai Guy Maupassant et le quai Berigny, les quatre façades et la toiture du bâtiment seront soignées et respectueuses de l'architecture du Port et du secteur sauvegardé du Centre historique de Fécamp.

Le projet dialogue avec son environnement proche aussi bien urbain que maritime.

La façade ouest est orientée vers les bâtis voisins, à savoir le Musée Pêcheurie et son extension. Cette façade peut être conçue comme un rappel du signal du Belvédère.



Musée des Pêcheries - Architecte :

André Hamayon - 1950



Belvédère-Architecte :

Basalt architecture et Die Werft - 2013

La façade est réponde à la volumétrie simple de l'architecture portuaire présente sur le site.



Bâtiment proche en bardage métallique

Le projet est conforme aux réglementations et contraintes d'urbanisme suivantes :

- Le bâtiment est un bâtiment privé, il ne reçoit pas de public.
- Il doit respecter le Code du Travail pour les établissements industriels et commerciaux.
- La réglementation RT 2012 s'applique pour les bureaux.
- Il répond par ailleurs aux exigences des règlements suivants de la Commune de Fécamp :
  - ZPPAUP (Zones de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager) – Secteur 1
  - P.L.U (Plan Local d'Urbanisme) – Zone UP

## 2.4.2.2 Principes architecturaux

### 2.4.2.2.1 Organisation générale

Le projet est composé de 4 parties :

- Une zone de bureaux-locaux sociaux (hauteur d'environ 14 m, en R+2)
- Un entrepôt (hauteur d'environ 9m)
- Des locaux annexes (aire à vélos ouverte-couverte, locaux à déchets et local technique...)
- Une zone extérieure dédiée au stockage temporaire et à la logistique des opérations exceptionnelles ; en dehors de ces périodes, cette zone est exploitée en aire de stationnements de la base de maintenance pouvant recevoir 50 véhicules légers.

### 2.4.2.2.2 Parti architectural

Le bâtiment a un caractère contemporain. Il s'inscrit dans un volume simple en référence au patrimoine portuaire.

#### La volumétrie :

Les deux fonctions, entrepôt et activité tertiaire, sont prises dans une volumétrie d'ensemble.

Les deux fonctions restent toutefois distinctes de par les matériaux utilisés et la différence de hauteur de chacune d'elles.

La toiture à trois pans d'inclinaison et orientée nord créé une lecture dynamique du projet et définit un axe fort vers la mer.

#### L'accès au bâtiment :

Un parvis minéral est un signal architectural fort permettant d'identifier l'accès principal au bâtiment. Celui-ci se situe au nord du bâtiment, face à la mer, tel la proue d'un navire.

#### Les façades :

Les façades est et ouest de la zone bureaux – locaux sociaux seront largement vitrées de manière à créer un lien fort avec l'environnement maritime.

Les trois façades de la zone entrepôt seront traitées avec un parement minéral ou métal en dialogue avec l'environnement proche plus urbain.

L'ensemble des façades des locaux annexes est traité en panneaux composites type bois foncé de manière à réduire leur impact visuel et dialoguer avec l'environnement proche et notamment le lycée professionnel maritime Anita Conti.



Vues du Lycée professionnel Anita Conti

Tous les matériaux utilisés respectent les préconisations du ZPPAUP et du PLU.

Leurs teintes respectives seront sombres de manière à intégrer l'ensemble dans l'environnement tout en offrant une esthétique contemporaine.



Une attention toute particulière sera portée sur le traitement de la cinquième façade, la toiture prenant en considération la vue depuis la falaise.

Elle sera de teinte foncée de manière à minimiser son impact dans le paysage.

## 2.4.3 Travaux envisagés

### 2.4.3.1 Réalisation des aménagements terrestres

L'architecture des bâtiments et le type de matériaux, dont les grands principes sont décrits au paragraphe précédent, conditionnent les méthodes de travaux de construction. Les travaux respecteront les bonnes pratiques pour ce type d'infrastructures terrestres, à savoir :

- Moyens d'approvisionnement : camions, éventuellement barges... ;
- Zone de stockage des matériaux sur site aménagés de façon à réduire les risques d'émanation de poussières ;
- Moyens de levage : grues... ;
- Moyens de construction et d'assemblage

Le chantier répondra aux règles strictes de gestion environnementales : bruits de chantiers, des engins, respects des mornes en vigueur, système de collecte de déchets

### 2.4.3.2 Réalisation des aménagements en contact avec le milieu marin

Les travaux consistent à :

- Première phase : Démantèlement du ponton existant non adapté à l'utilisation future :
  - Enlèvement des pontons flottants existants et valorisation vers une filière de recyclage (ou mise en décharge selon leur état) ;
  - Enlèvement et valorisation de la passerelle métallique vers un site de recyclage (ou mise en décharge selon son état) ;
  - Recépage des pieux 1 m sous la cote objectif de dragage et valorisation vers un site de recyclage (ou mise en décharge selon leur état).

Ces opérations nécessiteront l'utilisation d'un ponton équipé d'une grue et de moyens terrestres de levage pour l'évacuation des déchets.

Le recépage des pieux se fera par plongeurs. En alternative, les pieux pourraient être arrachés par vibration. Dans ce cas, la mobilisation de moyens plus importants sera nécessaire.

- Seconde phase : Construction du nouveau ponton qui nécessitera :
  - Le battage de 4 pieux métalliques dont le diamètre sera de l'ordre de 1m) ;
  - La mise en place des pontons (70 m de long) et de la nouvelle passerelle (18 m) ;
  - Le raccordement des pontons au réseau électrique et eau potable, puis l'installation de bornes.

Ces opérations seront assurées par un ponton flottant / barge équipé :

- D'une grue et de moyens de levage pour l'évacuation des déchets (pour la 1ère phase) ;
- D'un matériel de battage.

### 2.4.3.3 Durée des travaux

La durée des travaux est estimée à environ 12 mois. Cette durée pourra être revue en fonction du type de construction retenue pour la partie terrestre (bâtiment...). Les travaux seront réalisés de jour.

Nota : la durée des travaux pour la partie maritime est estimée à environ un trimestre.

## 2.5 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU SITE DE FABRICATION DES FONDATIONS GRAVITAIRES

Pour la description des fondations gravitaire, se référer à la section 3.2.3.

### 2.5.1 Préambule : modalités de réalisation des travaux de fabrication des fondations

La conception et construction se fera sous la forme d'un contrat clé en main (ou EPCI pour Engineering, Procurement, Construction and Installation), dont le principe est le suivant :le maître d'ouvrage contractualise pour l'ensemble du projet avec une seule entreprise (ce peut être une coentreprise) qui se chargera de faire tant la conception que la construction, sur la base d'une description des besoins fonctionnels fournie par maître d'ouvrage, exprimée dans un cahier des charges incluant une description des performances attendues.

Au vu de la nature du projet et de son mode de réalisation en contrat EPCI, les caractéristiques techniques détaillées du projet global ne sont pas connues à ce jour. Le projet est cependant suffisamment avancé pour que l'ensemble des impacts potentiels puisse être étudié.

*Nota : le site de fabrication des fondations gravitaires du parc éolien en mer de Fécamp sera exploité pour la construction du parc éolien en mer : la phase d'exploitation de ce site correspond donc à la phase de construction du parc éolien en mer*

### 2.5.2 Caractéristiques générales du site portuaire retenu pour la fabrication des fondations gravitaires

#### 2.5.2.1 Description du site de fabrication des fondations gravitaires – site de projet

La présente section traite de la construction et du stockage dans le port du Havre sur le site du terminal de Bougainville et la darse de l'Océan adjacente des fondations ayant vocation à être installées au sein du parc éolien en mer de Fécamp.

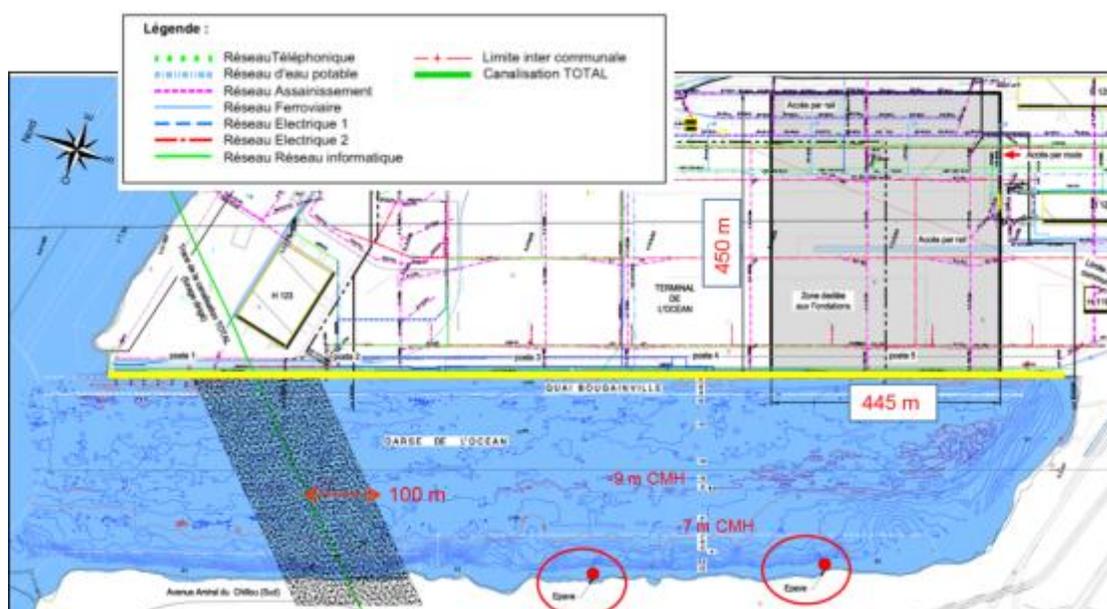
Le site retenu est présenté ci-dessous

#### **TERMINAL DE BOUGAINVILLE**

Le terminal de Bougainville sera dédié à la fabrication des fondations gravitaires.

Le quai de Bougainville est situé à l'Est de la darse de l'Océan et au Sud du bassin Henry Deshenes, en amont de l'écluse François 1er. Constitué des postes 1 à 5 sur une longueur d'environ 1 700 m, le quai ne sera dédié à la fabrication des fondations gravitaires que sur une longueur de 445 m, comme illustré sur les figures suivantes.

Figure 63 : Site de fabrication des fondations gravitaires



Source : ARTELIA, 2014

La superficie de terre-plein dédiée sera de 20 ha. Les linéaires de quai (450 m environ) et surfaces de terre-plein seront dédiés aux activités suivantes :

- Acheminement des granulats et du ferrailage ;
- Stockage des granulats et du ferrailage ;
- Usines à béton ;
- Construction des fondations gravitaires ;
- Mise à l'eau des fondations.

### **DARSE DE L'OCEAN**

La darse de l'Océan sera dédiée au stockage temporaire des fondations gravitaires avant leur remorquage sur le site en mer. Située à l'Ouest du Terminal de Bougainville et d'une longueur d'environ 1500 m pour une largeur de 350 m, elle permet l'accès maritime du terminal. Seule une partie de la darse, dans sa zone Ouest uniquement, sera dédiée au stockage des fondations comme illustré sur la figure ci-après (délimitation rouge sur la figure ci-dessous).

La présence de deux épaves et d'un pipeline pétrolier (TOTAL, présence par environ -27 m CMH) est répertoriée et prise en compte.

Figure 64 : Localisation de la zone de stockage temporaire des fondations

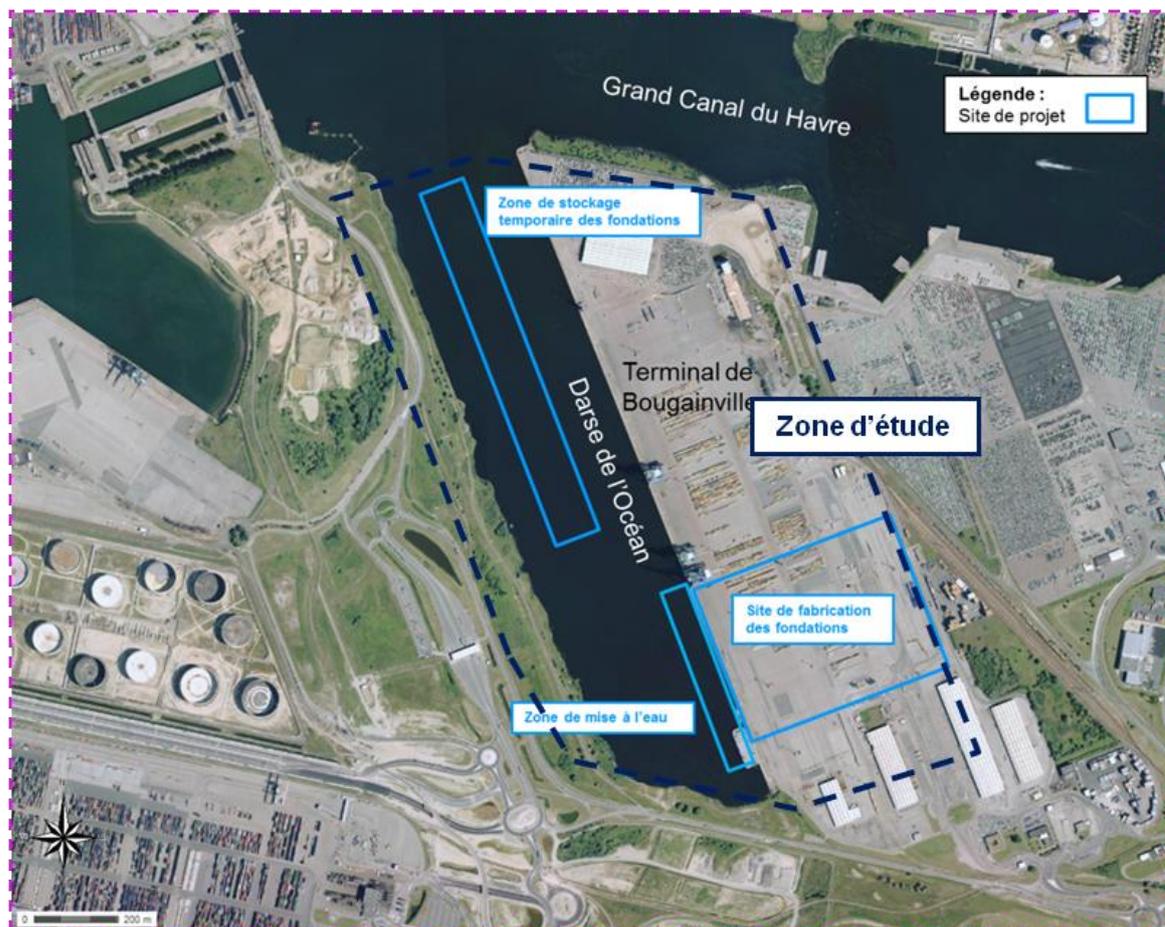
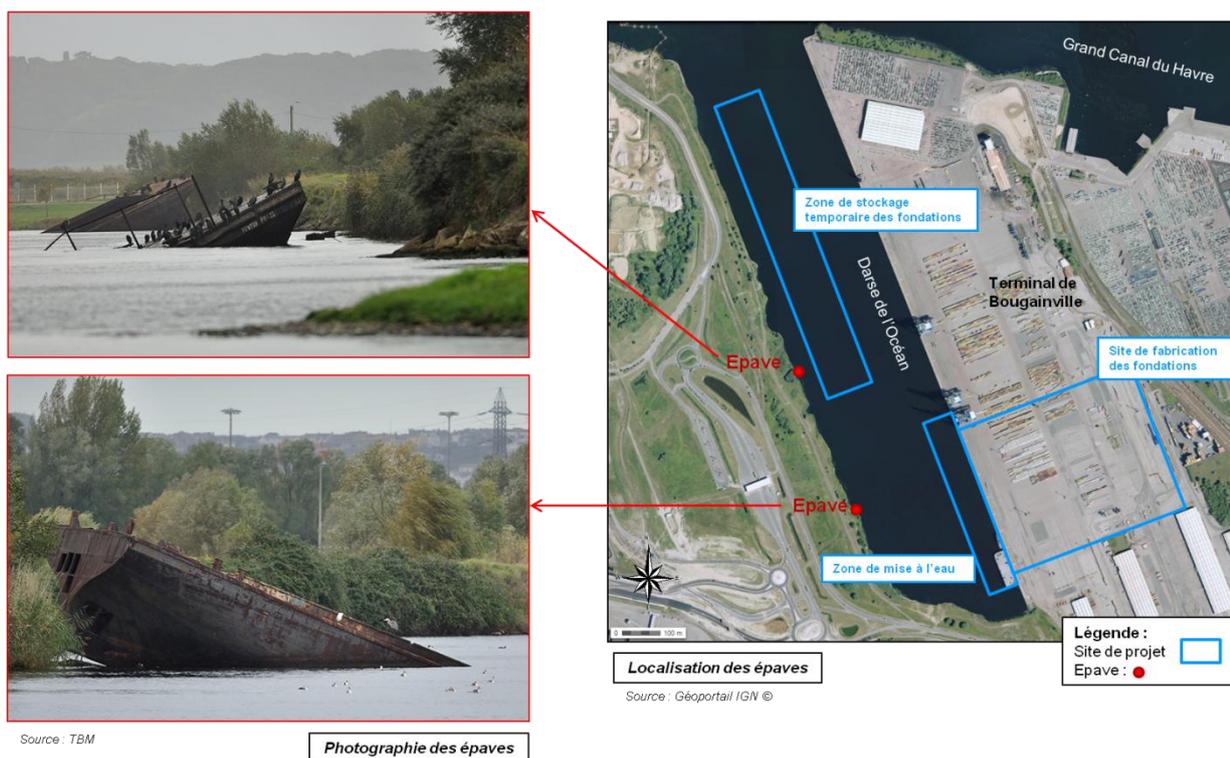


Figure 65 : Localisation des épaves dans la Darse



Source : TBM

Photographie des épaves

Source : ARTELIA, 2014.

Les deux épaves référencées sont situées en dehors de la zone de stockage temporaire des fondations. Par ailleurs, la zone de stockage est située à une distance de sécurité de 100 m du pipeline d'alimentation en pétrole brut (hypothèse maximaliste retenue à ce stade de l'étude).

La superficie de stockage dédiée serait, en première approche, de 10 ha environ. A noter que la délimitation précise de la zone de stockage temporaire est susceptible d'évoluer légèrement en fonction des caractéristiques techniques et des contraintes d'aménagement et d'utilisation de la Darse, en lien avec le GPMH.

### 2.5.2.2 Démantèlement et déconstruction

D'une manière générale, la mise à disposition des terrains par le GPMH fait l'objet d'une convention d'occupation avec EOHF. Cette convention prévoit la déconstruction et le démantèlement des installations et ouvrages spécifiquement mis en place.

Cependant, le GPMH se réserve le droit d'accepter, en tout ou partie, que des installations et/ou aménagements soient maintenus en l'état au bénéfice de futures activités portuaires.

## 2.5.3 Infrastructures portuaires dédiées aux fondations gravitaires

Au vu de la nature du projet de fabrication des fondations et de son mode de réalisation en contrat EPCI (Engineering, Procurement, Construction and Installation), les modalités d'exécution du projet seront précisées ultérieurement (dépendants du phasage définitif des travaux de construction du parc par le groupement EPCI, des navires et moyens mobilisés pour les travaux, des fréquences définies,...).

### 2.5.3.1 Descriptif

Le site de fabrication et de stockage temporaire des fondations est composé des aménagements suivants :

- L'aménagement des terre-pleins du terminal avec d'éventuels renforcements : zone de stockage et fabrication du béton, zone de construction des fondations.
- L'aménagement d'une zone de mise à l'eau des fondations, avec 3 variantes différentes :

- bermes de mises à l'eau (variante n°1),
- rampe d'accès à la darse (variante n°2),
- portique (variante n°3)

Il est précisé que l'étude d'impact est menée pour le cas majorant de mise à l'eau.

- l'aménagement d'une zone de stockage provisoire des fondations avant leur acheminement jusqu'au parc au large de Fécamp

Les ouvrages spécifiquement mis en place devront être démantelés, conformément à la convention qui lie le GMPH et EOHF.

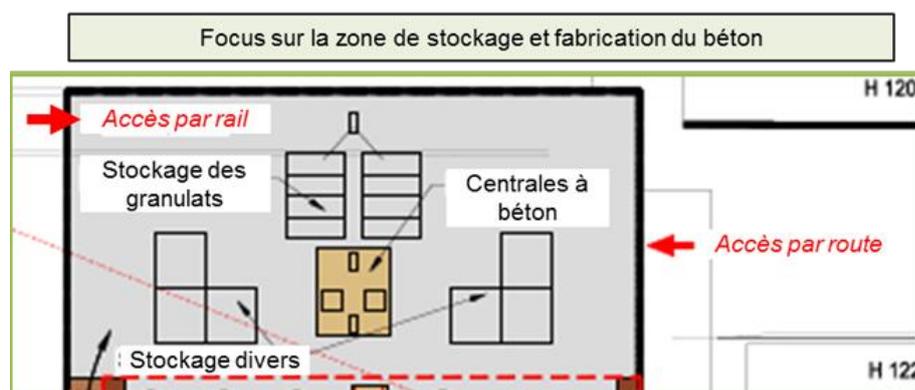
### 2.5.3.2 Principes d'aménagement

#### 2.5.3.2.1 Zone de stockage et de production de béton

Ces zones sont organisées au-delà d'une bande de 300 m en retrait par rapport au quai bénéficiant ainsi d'un accès direct par la route et la voie ferrée.

Cette zone s'étend sur une emprise d'environ 9,2 ha. Elle accueillera la zone de stockage, les deux usines à béton ainsi que les bureaux et le parking des engins de chantier.

Figure 66 : Schéma de principe de la zone de stockage et de fabrication du béton



Source : ARTELIA, 2014

#### A. Zone de stockage et voie de circulation

Plusieurs zones de stockage sont prévues sur le site suivant les besoins :

- Stockage des granulats : ces zones de stockage, d'une superficie totale d'environ 5 000 m<sup>2</sup>, disposent d'une capacité de 12 000 m<sup>3</sup> chacune ;
- Stockage divers (ferrailage, ...) sur une superficie d'environ 8 500 m<sup>2</sup>.

Il n'est pas envisagé de renforcement de ces zones mais une simple préparation du terre-plein (reprise de la chaussée).

Les matériaux (granulats et ferrailage nécessaires à la fabrication des fondations) seront acheminés sur site soit par voie terrestre soit par voie maritime :

- Voie terrestre : en effet, le site bénéficie d'accès routiers et ferroviaires adaptés. Les voies d'accès terrestre au site étant déjà existantes, aucun aménagement de ces accès ne sera nécessaire ;

Note : Afin de comparer le trafic lié à l'approvisionnement par la route au trafic conteneur, précédente activité du site, une estimation des cadences a été réalisée sur la base d'une production de béton de 100 m<sup>3</sup>/h 24heure par jour. Pour assurer le renouvellement du stock de granulats et du ferrailage, une cadence d'environ 60 aller-retour de camions benne de 20 m<sup>3</sup> sera nécessaire chaque jour. Il n'est pas prévu de production à flux tendu, un stock tampon permettra de n'étaler les approvisionnements routiers que durant la journée.

- Voie maritime ou fluviale : le poste de 150 m de long, situé en bordure du poste 4, accueillera des navires vraquiers, des navires auto déchargeant (type Charlemagne) ou des barges déchargés par des grues portuaires (bennes preneuses) chargeant des camions ou des bandes transporteuses. Ceci nécessitera le renforcement du linéaire de quai le long de la bande des 28 m, soit sur une superficie de 4 200 m<sup>2</sup>.

Cet approvisionnement, réalisé de jour, sera étalé sur une période de 2 à 3 ans.

### B. Usines à béton

Deux usines à béton d'une capacité nominale 100 m<sup>3</sup>/h chacune sont prévues. La production sera assurée par une centrale, l'autre assurant le relais en cas de panne de la première usine. La hauteur des deux centrales à béton atteindra 30 m chacune.

Figure 67 : Exemple de centrale à béton



Source : infociments.fr

Afin d'assurer la fondation des usines à béton et de contrôler les tassements, un renforcement du terre-plein est nécessaire sur une superficie totale estimée à 800 m<sup>2</sup> pour les deux centrales (soit environ 400 m<sup>2</sup> pour chaque centrale).

En l'absence de réseau d'eau industrielle sur le site, l'approvisionnement en eau douce pour la production de béton est prévu par la réalisation d'un forage dans le terre-plein. La localisation de ce forage et sa profondeur doivent être établis sur la base de données piézométriques. Les besoins en eau ont été estimés à une moyenne d'environ 500 m<sup>3</sup>/jour. Ce prélèvement sera étalé sur une période de 2 à 3 ans (soit un total d'environ 40 000 à 50 000 m<sup>3</sup> d'eau pour l'ensemble des fondations).

#### 2.5.3.2.2 Zone de construction des fondations gravitaires

##### A. Organisation de la zone de construction

La zone dédiée à la construction des fondations gravitaires est située sur une bande d'environ 300 m de largeur positionnée en retrait de 28 m par rapport au quai afin de ne pas interagir avec celui-ci.

La construction des fondations est organisée en lignes de fabrication, chaque ligne comportant 4 postes, auxquels s'ajoute le poste de mise à l'eau (=Poste 5) :

- Poste 1 : Radier ;
- Poste 2 : Verticaux (coffrage glissant) + plateforme ;
- Poste 3 : Auxiliaires et précontraintes ;
- Poste 4 : Stockage temporaire.

Les fondations sont construites dans leur totalité à terre et déplacées suivant les besoins et l'avancement de la construction. Les fondations sont déplacées de poste en poste par tirage sur des rails (20 m d'entraxe) ou par l'intermédiaire de remorques multi-essieux motorisées

Jusqu'à 30 fondations pourront ainsi être construites simultanément, avec un stockage à terre compris entre 5 et 15 fondations complètes suivant la disponibilité des lignes de construction.

Pour cela, le renforcement des terre-pleins est prévu de manière homogène de façon à offrir une plus grande souplesse d'organisation du chantier.

*Figure 68 : Exemple de remorques multi-essieux - projet Thorntonbank*



Source : ARTELIA – EOHF, 2014

Afin de permettre le déplacement des remorques multi-essieux, la zone de construction sera renforcée afin de tolérer une surcharge localisée de 6 à 15 t/m<sup>2</sup>. Un cheminement privilégié permettra de traverser la bande de 28m le long du quai.

Une fois la fondation construite sur le terre-plein, celle-ci sera soit stockée à terre, soit dirigée vers le quai pour sa mise à l'eau.

#### B. Hauteur des installations sur la zone de construction des fondations

Plusieurs éléments de grande hauteur seront présents sur le site durant les phases de construction des fondations :

- Les fondations qui auront une hauteur maximum de 60 m ;
- Les grues nécessaires à la construction des fondations qui auront une hauteur maximum de 90 m.

Figure 69 : Hauteur des installations



Source : DEME, 2014

A noter que les portiques de déchargement des conteneurs précédemment en place sur le site de Bougainville, avaient une hauteur de 70 m environ en position de travail et pouvaient atteindre 107 m une fois relevés.

Figure 70 : Portiques du quai de Bougainville



Source : CETMEF, 2014

### 2.5.3.2.3 Zone de mise à l'eau des fondations

L'aménagement d'une zone de mise à l'eau des fondations peut être effectué avec 3 variantes différentes :

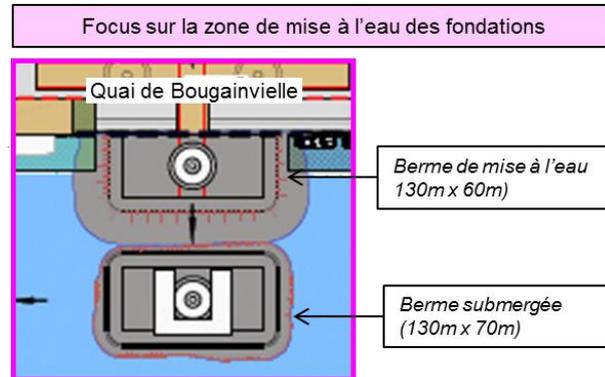
- bermes de mises à l'eau (variante n°1),
- rampe d'accès à la darse (variante n°2),
- portique (variante n°3)

#### A. Bermes de mise à l'eau (variante 1)

Dans cette variante, le dispositif de mise à l'eau nécessite la réalisation :

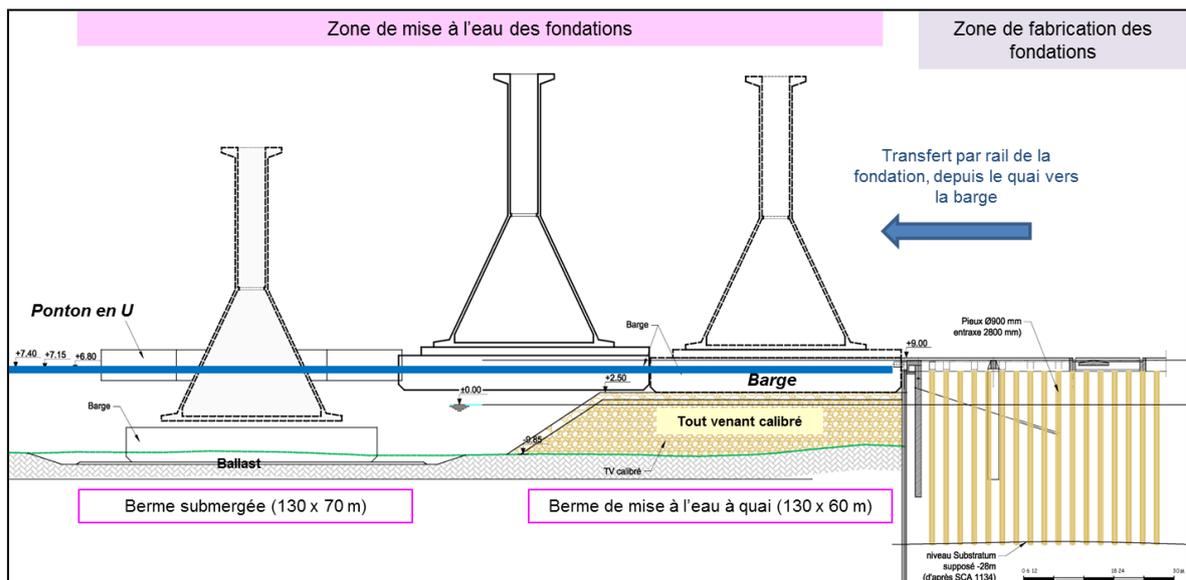
- D'une berme de mise à l'eau (dimension : 130 m x 60 m, épaisseur : 15-16 m maximum) le long du quai sur laquelle la barge sera « beachée<sup>7</sup> » ;
- D'une berme submergée (dimension : 130 m x 70 m, épaisseur 0,50 m).

Figure 71 : Variante n°1 de mise à l'eau - Schéma de principe de la zone de mise à l'eau des fondations



Source : ARTELIA, 2014

Figure 72 : Variante n°1 de mise à l'eau – Principe de mise à l'eau et stockage provisoire de la fondation

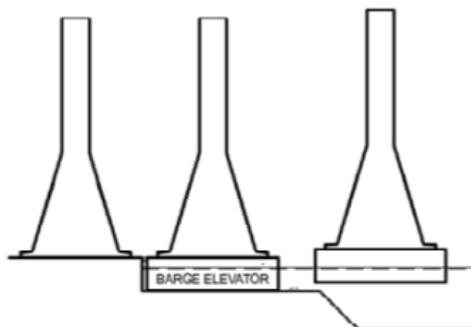


Source : ARTELIA, 2014

La mise à l'eau des fondations et leur stockage sont réalisés au moyen d'une barge balastable (110 m x 50 m), et d'un ponton en forme de « U » (60 m x 50 m) selon les étapes suivantes :

7 « échouée »

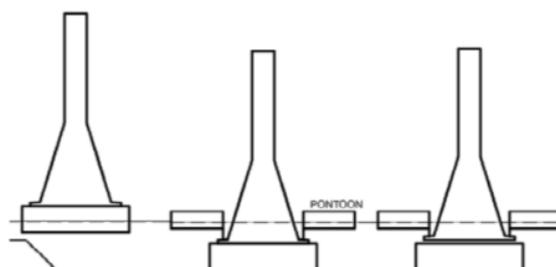
Figure 73 : Variante n°1 de mise à l'eau - principe de mise à l'eau de la fondation



Source : EOHF

- Positionnement de la barge bord à quai qui est ballastée pour reposer sur une berme à la cote +2,55 m CMH ;
- Transfert par rail de la fondation, depuis les longrines positionnées sur le quai, vers celles de la barge par l'intermédiaire de poutres de transfert ;
- Déballastage de la barge chargée (un pied de pilote d'environ 1 m est laissé au-dessus de la plateforme) ;

Figure 74 : Variante n°1 de mise à l'eau - principe de reprise par le ponton en U



Source : EOHF

- Remorquage de la barge chargée jusqu'au milieu de la darse ;
- Immersion de la barge sur un lit de ballast (dimensions 130 m x 60 m) préparé pour permettre une bonne répartition des charges et contrôler les phases de remise en flottaison ;
- Reprise et remise en flottaison de la fondation par le ponton en U ;
- Remorquage du ponton et la fondation jusqu'à son emplacement de stockage temporaire dans la darse. La fondation y est ballastée pour venir reposer sur l'emplacement prévu à cet effet.

Figure 75 : navire OSTREA - ponton en forme de « U »



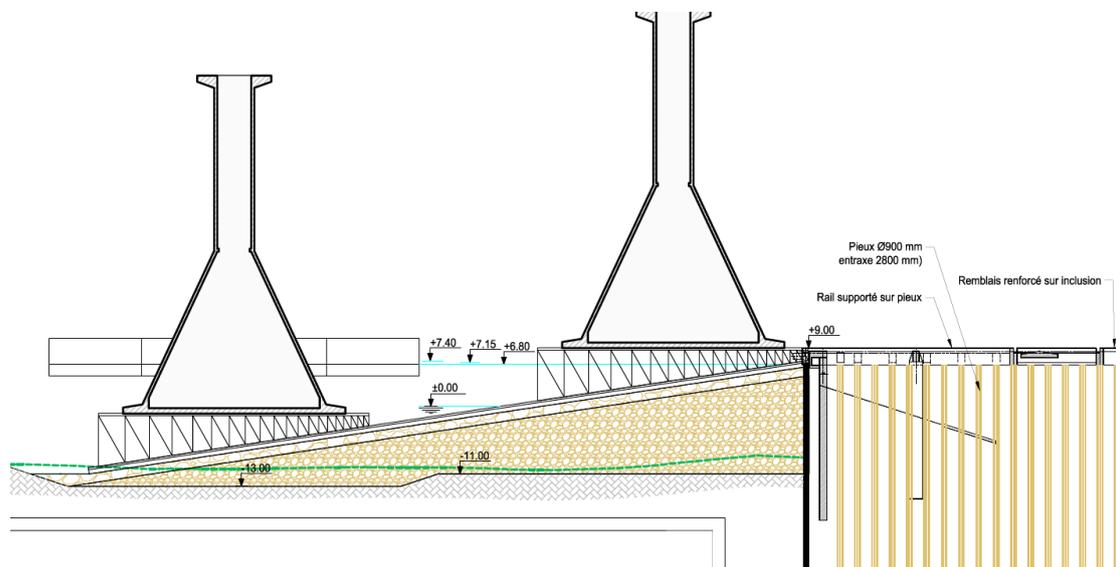
Source : GustoMSC

### **B. Rampe d'accès à la darse (variante n°2)**

La mise à l'eau des fondations est faite au moyen d'une rampe d'accès à la darse sur laquelle est montée une plateforme horizontale sur rails. Celle-ci est équipée d'un câble arrimé à un treuil permettant une descente contrôlée dans la darse.

Lorsque la fondation est en bout de rampe, et partiellement immergée, elle est reprise par le ponton pour être remorquée jusqu'à son emplacement de stockage provisoire.

Figure 76 : Variante n°2 de mise à l'eau – Vue en coupe de la rampe de mise à l'eau



Source : ARTELIA, 2014

### **C. Mise à l'eau par portique (variante n°3)**

Dans cette variante de mise à l'eau, il est considéré que :

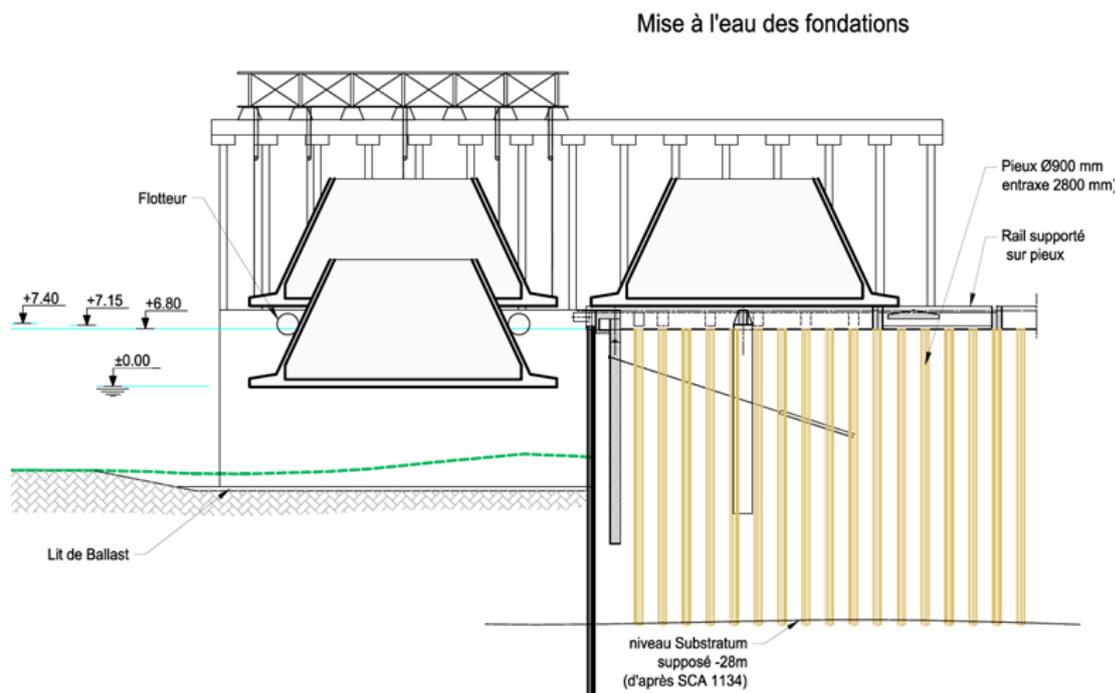
- Les fondations gravitaires sont construites jusqu'à une hauteur de 15 m sur le terre-plein ;
- La mise à l'eau se fait au moyen d'un portique lorsque la fondation a atteint une taille critique ;
- La construction des fondations est achevée bord à quai.

Les dimensions des fondations (hauteur maximale de 15 m avec une masse d'environ 4 200 t) correspondent à une taille permettant la manipulation par un portique et la flottaison de la fondation pour faciliter son déplacement jusqu'à la zone bord à quai où sa construction sera achevée.

Aussi, la mise à l'eau des fondations est réalisée à l'aide d'un portique permettant, par levage, de transférer les fondations depuis le quai vers la darse. Ce portique, est constitué d'un pont roulant fondé pour moitié sur des pieux dans le terre-plein et pour moitié sur des structures aménagées perpendiculairement au quai.

Une fois immergées dans la darse par le portique de levage, les fondations seront équipées de flotteurs assurant la stabilité de la fondation.

Figure 77 : Variante n°3 de mise à l'eau – Vue en coupe du portique de mise à l'eau



Source : ARTELIA, 2014

Figure 78 : Exemple de portique pour la mise à l'eau des caissons de Tanger Med 2



Source : ARTELIA - EOHF, 2014

Cette variante nécessite la finalisation de la construction des fondations en bord à quai. Pour cela, il est considéré les étapes suivantes :

- Remorquage des fondations jusqu'à venir se positionner bord à quai, les flotteurs sont maintenus autour de la fondation lors du transfert ;
- Retrait des flotteurs et ballastage des fondations pour venir reposer sur une berme à -1,20 m CM ;
- Finalisation bord à quai de la construction des fondations, reposant sur la berme ;
- Reprise des fondations achevées par le ponton en U et remorquage jusqu'à la zone de stockage dans la darse.

#### 2.5.3.2.4 Zone de stockage temporaire des fondations

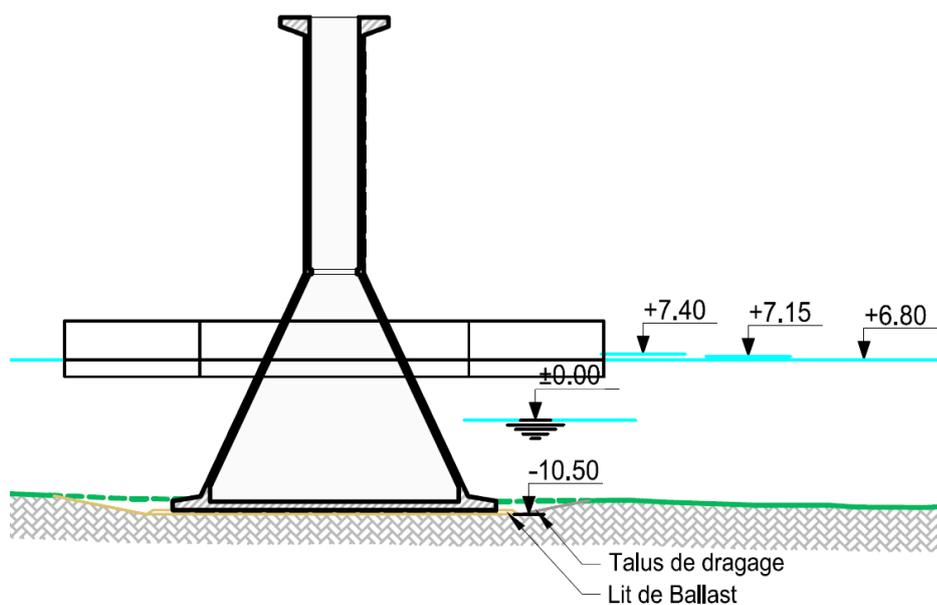
Des zones sont préparées pour le stockage des fondations dans la darse. Elles ont été positionnées selon les critères et hypothèses suivants :

- Stockage d'un maximum de 30 fondations pour assurer une continuité de la construction à terre sans rupture de la charge aux postes de construction ; Ce stockage peut s'effectuer sur deux rangées de fondations le long de l'extrémité Ouest de la darse
- Prise en compte d'une zone d'exclusion de 100 m autour du pipeline de pétrole TOTAL.
- Manœuvre réalisable en sécurité dans la darse pour des remorqueurs et un navire de 45 m de largeur (gabarit maximum de l'écluse François 1er : 365 m x 55 m)

L'aménagement de la zone de stockage nécessite:

- Un dragage préparatoire. L'épaisseur de vase sera de 2 m environ conduisant à des cotes de dragage comprises entre -11,0 m CMH et -10,5 m CMH. la réalisation de pentes raides permettra un stockage de 30 fondations, sans impacter les talus de la darse. Le volume de dragage associé est de 145 000 m<sup>3</sup>
- La mise en place d'un lit de ballast (remblai) pour assurer la stabilité des fondations et permettre leur reprise sans effet de succion. Dans l'optique de minimiser les volumes apportés, des zones circulaires sont aménagées avec un diamètre équivalent à celui de la fondation + 2 m, soit un diamètre de 40 m. Une épaisseur de ballast de 0,50 m est considérée (cf. figure suivante).

Figure 79 : Vue en coupe sur la zone de stockage immergée des fondations



Source : ARTELIA, 2014

### 2.5.3.3 Description des principaux travaux à réaliser

#### 2.5.3.3.1 Zone de stockage et de production de béton / zone de construction des fondations : renforcement et équipement des terre-pleins

Pour contrôler les tassements, des renforcements (type inclusion rigide) seront réalisés :

Tableau 18 : Localisation des terre-pleins renforcés

Localisation	Superficie à renforcer
Zone de stockage et production du béton	800 m <sup>2</sup> (2x 400m <sup>2</sup> )
Zone de construction des fondations	Superficie de 90 000 m <sup>2</sup>
Zone de déchargement des granulats (quai)	4 200 m <sup>2</sup> (28m x 150m)

#### 2.5.3.3.2 Zone de mise à l'eau

Dans le cadre de l'étude des effets du projet sur l'environnement, les surfaces et volumes indiqués ci-après correspondent aux variantes maximalistes de mise à l'eau.

Les volumes de dragage et de remblai nécessaires correspondent à a mise à l'eau par berme :

- Berme de mise à l'eau le long du quai qui nécessite :  
Le dragage des vases superficielles, avec un volume de 30 000 à 35 000 m<sup>3</sup> (les opérations de dragage nécessaires à la zone de mise à l'eau et de stockage temporaire des fondations gravitaires, ainsi que le clapage des matériaux dragués sont décrits en partie 2.5.3.3.4);  
→ L'apport d'environ 150 000 m<sup>3</sup> de matériaux. Ces matériaux seront mis en place par des grues sur ponton flottant et des moyens terrestres intervenant depuis le quai ;
- Berme submergée qui nécessite l'apport de 5 000 m<sup>3</sup> de matériaux. Les matériaux seront mis en place par des moyens nautiques de type ponton flottant équipé d'une benne à clapet avec outil de réglage.

Tableau 19 : zone de mise à l'eau - Mise à l'eau des fondations : volume des opérations de dragage et de remblai

Opération	Volume	Epaisseur / hauteur
<b>Dragage</b>	30 000 à 35 000 m <sup>3</sup>	2 m environ
<b>Remblai</b>	155 000 m <sup>3</sup>	Berme de mise à l'eau : épaisseur maximum 15-16 m Berme submergée : 0,5 m

La surface maximale concernée par le dragage et le remblai correspond à la mise à l'eau par portique, avec une surface remblayée de 16.000 m<sup>2</sup>

En effet, les travaux nécessaires dans cette variante de mise à l'eau sont les suivants :

- La construction des fondations du pont roulant. La fondation sur le terre-plein sera réalisée par des pieux forés bétons et les supports dans la darse pourraient être de type caisson béton ou de type quai en blocs bétons. Une solution de gabion de palplanche n'est pas adaptée au vue des vibrations générées lors de leur mise en place. Une souille doit être préparée pour recevoir les structures support (volume de dragage de 15 000 m<sup>3</sup>, volume de ballast -ép. 30 cm- : 650 m<sup>3</sup>). Eventuellement, les structures support pourraient nécessiter une fondation sur pieux ou micropieux non considérée ;

- La préparation d'une berme de dimensions 250 m x 50 m pour la finition des fondations bord à quai nécessite l'apport de 125 000 m<sup>3</sup> de tout venant calibré avec une pente de 3/2). Les dimensions de la berme permettent le stockage d'environ 5 fondations centrées au milieu de celle-ci avec une marge de sécurité de 10 mètres par rapport aux extrémités et avant le commencement du talus.
- Par ailleurs, cette variante nécessite l'implantation de pieux forés béton ou inclusions rigides sur une superficie de 7 000 m<sup>2</sup> Pour la zone de finition des fondations bord à quai qui doit permettre à des grues de manœuvrer (250m de linéaire pour une largeur de 28m).

A noter par ailleurs que dans le cas de mise à l'eau par rampe d'accès, l'aménagement de la rampe de mise à l'eau nécessite la réalisation d'une chape de béton (ép. 0.5 à 1,50m, l. 25m, L= 120m) supportant les rails de mise à l'eau au dessus de la zone ballastée.

### 2.5.3.3.3 Zone de stockage temporaire des fondations

La réalisation de la zone de stockage des fondations nécessite des travaux de dragage, puis de remblai de matériaux :

- Opérations de dragage : le volume de dragage est estimé à 145 000 m<sup>3</sup> (vase et sables fins principalement). Les opérations de dragage nécessaires à la zone de mise à l'eau et de stockage temporaire des fondations gravitaires, ainsi que le clapage des matériaux dragués sont décrits en partie 2.5.3.3.4
- Opération de ballastage : l'aménagement de la zone de stockage immergée nécessite la préparation des emplacements recevant les fondations par mise en place d'un remblai, avec un volume de matériaux à apporter d'environ 30 000 m<sup>3</sup>. Ces matériaux granulaires seront mis en place par des moyens nautiques de type ponton flottant équipé d'une grue ou navire équipé d'un tube plongeur.

Tableau 20 : Zone de stockage des fondations : opérations de dragage et de remblai

Opération	Volume	Hauteur / épaisseur	Emprise
Dragage	145 000 m <sup>3</sup>	1 à 3 m	60 000 m <sup>2</sup>
Remblai	30 000 m <sup>3</sup>	0,5 m environ	60 000 m <sup>2</sup>

### 2.5.3.3.4 Description des opérations de dragage et clapage en mer

#### A. Zones et volumes concernés

Deux zones pourraient être concernées par des travaux de dragage (Cf Carte 5) :

- une partie du quai de Bougainville qui pourrait être aménagé pour permettre la construction d'un système de mise à l'eau des fondations gravitaires
  - Longueur de quai réservée pour l'usage exclusif d'EOHF : 450 m
  - Volume à draguer estimé : 35 000 m<sup>3</sup> (Cf paragraphe 2.5.3.3.2)
- une partie de l'ouest de la darse qui pourrait être utilisé pour le stockage de fondations gravitaires. Des travaux de préparation de sols, dragage de la couche supérieur de sédiments fins de sol, seraient alors nécessaires
  - Cote projet (-11 m CMH)
  - Longueur 700 m, Largeur 85 m
  - Superficie 60 000 m<sup>2</sup>, talutage 1/5, largeur moyenne 15 m
  - Volume à draguer estimé : 145 000 m<sup>3</sup> (Cf paragraphe 2.5.3.3.3)

## B. Moyens de dragage

Pour effectuer les travaux de préparation de sols en vue du stockage des fondations gravitaires, deux types de moyens sont considérés comme les plus adaptés aux conditions de site :

- Hydraulique : Drague Aspiratrice en Marche (DAM)
- Mécanique : pelle sur ponton et chaland

### Hydraulique : DAM

Bien qu'il existe des dragues de plus grandes capacités, au vue de la taille du chantier et des besoins de manœuvrabilités dans la darse une drague d'environ 5 000 m<sup>3</sup> puits semble en première approche la plus adaptée (suivant les dimensions et la propulsion des navires certaines 8 000 m<sup>3</sup> pourraient être proposées par des contractants).

Figure 80 : Exemple de DAM et dimensions principales

	Longueur	97,5 m
	Largeur	21,6 m
	Tirant d'eau max lège	3,9 m
	Tirant d'eau max en navigation	5,7 m
	Capacité du puits	5 600 m <sup>3</sup>
	Port en lourd	8 350 t

Le temps de cycle est estimé à 8h30 et se décompose en :

- Chargement 2h
- Transport A/R (inclus 2 sas dans l'écluse François 1<sup>er</sup>) 6h
- Vidage / rinçage du puits 0h 30

Le retour d'expérience montre que pour des matériaux fins, le volume in-situ extrait à chaque chargement peut être estimé à 2 500 m<sup>3</sup>.

Sur la base de ces hypothèses, le nombre total de cycle, pour un volume total à draguer de 180 000 m<sup>3</sup>, est de 72 soit un temps de travail « continu » de 610h.

Une drague travaillant en moyenne 22h/jour, la durée totale du chantier serait donc de 28 jours hors aléa météo.

### Dragage mécanique

Du fait de la nature des matériaux (plutôt fins) et d'une partie des travaux (construction du système de mise à l'eau), l'utilisation d'une drague mécanique (à plus faible rendement) pourrait être considérée par les contractants.

Le matériel déployé pourrait avoir les caractéristiques suivantes :

- Volume du godet : 5 m<sup>3</sup>
- Volume puits du chaland : 500 m<sup>3</sup>

- Port lourd du chaland : 700 t

Figure 81 : Exemple de pelle sur ponton

	Longueur	37,5 m
	Largeur	15 m
	Tirant d'eau max en travail	3 m
	Tirant d'eau max en navigation	2,2 m
	Profondeur de dragage maximale	18 m
	Système de positionnement	3 pieux

Figure 82 : Exemple de barge fendable propulsée

	Longueur	60 m
	Largeur	11,4 m
	Tirant d'eau max lège	2,2 m
	Tirant d'eau max en navigation	3,8 m
	Capacité du puits	750 m <sup>3</sup>
	Port en lourd	974 t

Le temps de cycle est estimé à 8h30 et se décompose en :

- Chargement 2h
- Transport A/R (inclus 2 sas dans l'écluse François 1<sup>er</sup>) 6h
- Vidage / rinçage du puits 0h 30

La production de la pelle mécanique dans des matériaux fins a été estimée à 255 m<sup>3</sup>/h.

Sur la base de ces hypothèses, le nombre total de cycle, pour un volume total à draguer de 180 000 m<sup>3</sup>, est de 350 soit un temps de travail « continu » de 3000h.

Une drague travaillant en moyenne 22h/jour, la durée totale du chantier serait donc de 137 jours hors aléa météo.

### C. Zone de dépôt

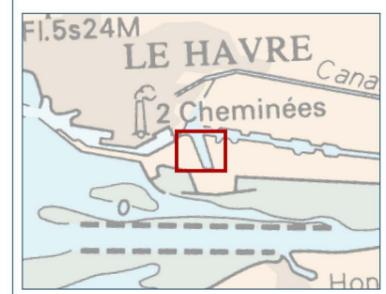
Le GPMH a donné son accord d'utilisation de la zone de dépôt d'Octeville (représentée en Figure 7) comme zone de dépôt des matériaux dragués.

Dans le cadre du permis d'immersion relatif à ses dragages d'entretien, le port du Havre a adopté une gestion des clapages par rotation : cette gestion consiste à quadriller le site d'immersion en casier de 500x500 m et d'attribuer des casiers différents en fonction des types de drague (capacité en puits...) et de la période de retour des immersions sur chaque case. Ce découpage permet de mieux gérer les campagnes de dragage en attribuant à chaque intervention une zone de clapage et d'effectuer ainsi un suivi quotidien et à long terme des volumes immergés sur le dépôt permettant de limiter l'impact des immersions sur le compartiment benthique notamment.

D'autre part, ce type de gestion permet également de séparer les matériaux de forte granulométrie de ceux possédant une granulométrie plus fine. Par exemple, une zone spécifique a été définie pour contenir les matériaux sablo-graveleux (sud-est de la zone de dépôt). Cette zone a été utilisée dans le cadre des travaux neufs de la première phase de Port 2000 qui a générée des matériaux sablo-graveleux. A ce jour, elle n'est pas utilisée pour le clapage des dragages d'entretien dont les matériaux sont principalement vaseux.

La gestion des clapages est présentée au service de la police de l'eau chaque année sous la forme d'un bilan annuel par le GPMH. Ce rapport de synthèse précise les quantités de sédiments clapés dans les casiers. De manière générale, les clapages des dragages d'entretien du GPMH ont lieu principalement dans le secteur nord et ouest de la zone de dépôt. Les immersions relatives aux travaux d'approfondissement de la darse de l'océan pourront donc être réalisés au nord Est de la zone d'immersion, ceux-ci devant être coordonnés avec les immersions du GPMH.

Un casier pourra être défini à titre indicatif, sur la base du volume maxi et des rendements journaliers mais restera à préciser au moment où les travaux commenceront pour intégrer la gestion du site par le GPMH. Les conditions d'utilisation seront celles de l'arrêté du GPMH.



- Zones à draguer
- GPMH

Project: FECAMP/ GPMH  
 Date: 04/12/2014  
 Created by : ST  
 Checked by : FE  
 Approved by : FE  
 Datasource : GPMH  
 Document nr. :

Système de coordonnées :  
 WGS 1984 UTM Zone 30N

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

© SHOM carte 6657. Date : 04/12/2014 - Réal. : Stauszig - FEC\_20140915\_Darse\_Ocean\_ORU\_V2.0.mxd

### 2.5.3.4 Synthèse des travaux à réaliser – délais de réalisation

#### A. Synthèse des aménagements prévus

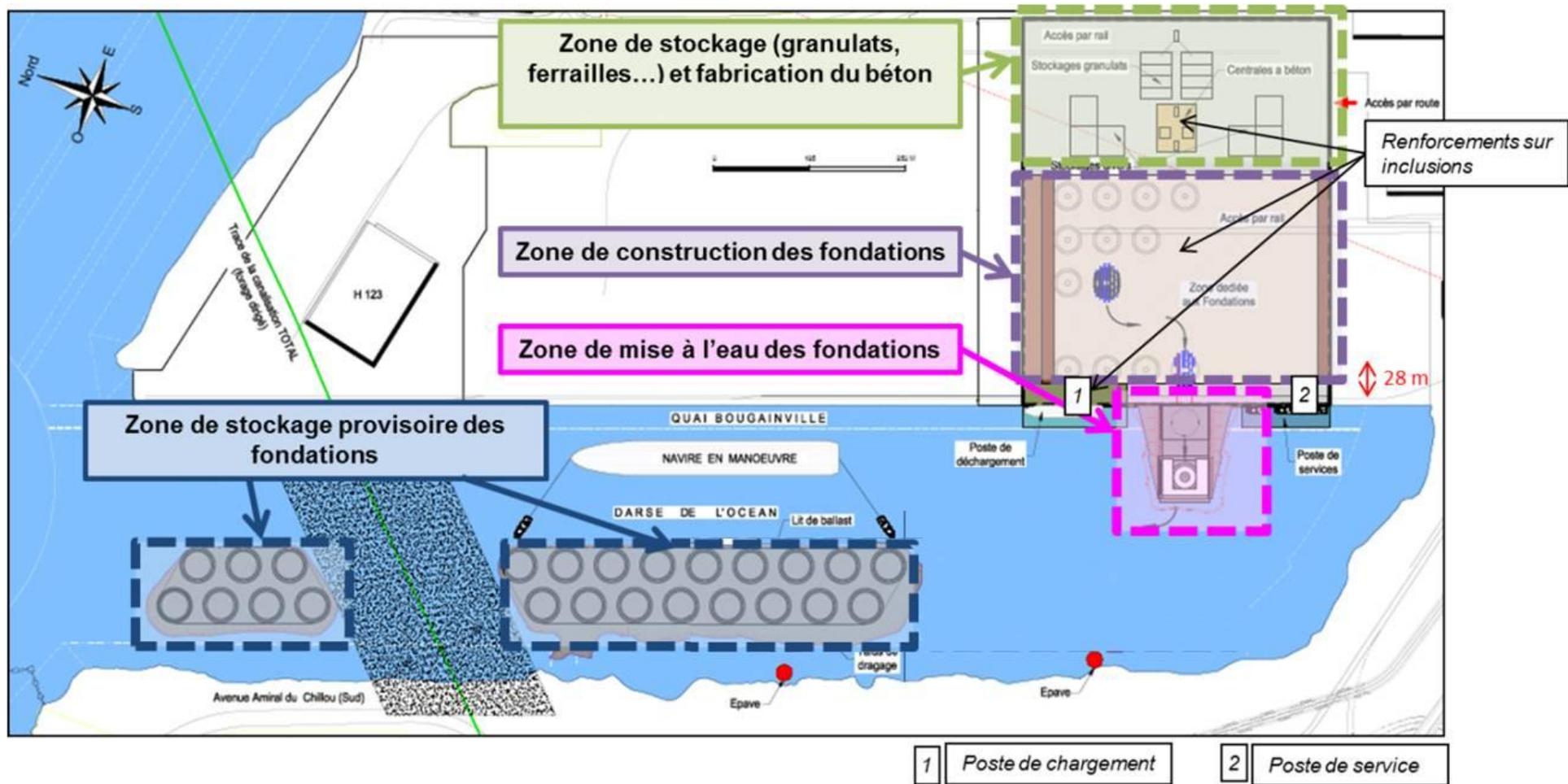
Le tableau ci-dessous dresse la synthèse des principaux aménagements prévus. A noter que dans le cadre de l'étude des effets du projet sur l'environnement, la variante maximaliste de mise à l'eau a été considérée et est présentée dans le tableau :

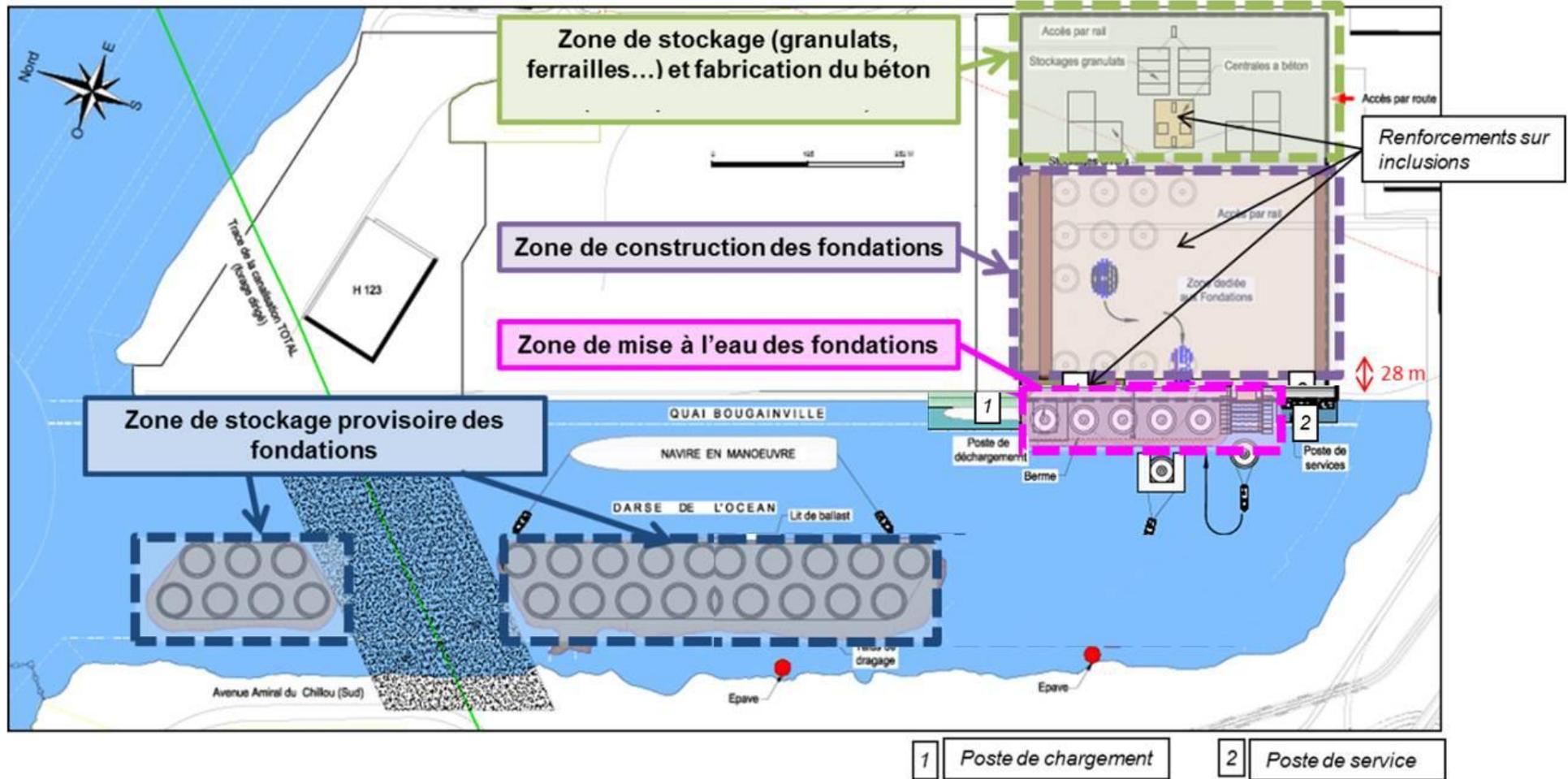
Tableau 21 : Synthèse des travaux à réaliser

Aménagements		Description		
Aménagements terrestres	Zone de stockage	Poste de déchargement	Linéaire du poste : 150 m Remblais sur inclusions rigides : superficie 4 200 m <sup>2</sup>	
		Centrale à béton	Remblais sur inclusions rigides : superficie 800 m <sup>2</sup> Réalisation d'un forage pour l'approvisionnement en eau douce	
	Zone de construction des fondations	Renforcement de la zone de fabrication par des remblais sur inclusions rigides (superficie : 90 000 m <sup>2</sup> )		
Aménagements maritimes	Ouvrage de mise à l'eau (barge ballastage, rampe ou portique)	<b>Opération</b> <b>Volume</b> <b>Emprise</b>		
		Dragage	30 000 à 35 000 m <sup>3</sup>	16 000 m <sup>2</sup>
		Remblai	155 000 m <sup>3</sup>	
	Zone de stockage dans la darse	Opération de dragage et de remblai		
		<b>Opération</b> <b>Volume</b> <b>Emprise</b>		
		Dragage	145 000 m <sup>3</sup>	60 000 m <sup>2</sup>
	Remblai	30 000 m <sup>3</sup>	60 000 m <sup>2</sup>	
Zone de clapage	Clapage de 180.000 m <sup>3</sup> sur la zone de clapage du GPMH à Octeville			

L'acheminement des matériaux de construction du site (remblai, matériaux de chaussée, inclusion...) s'effectuera soit par voie maritime, soit par voie terrestre (rail ou camions).

Les plans masse ci-après représentent les aménagements envisagés (3 variantes de mise à l'eau).





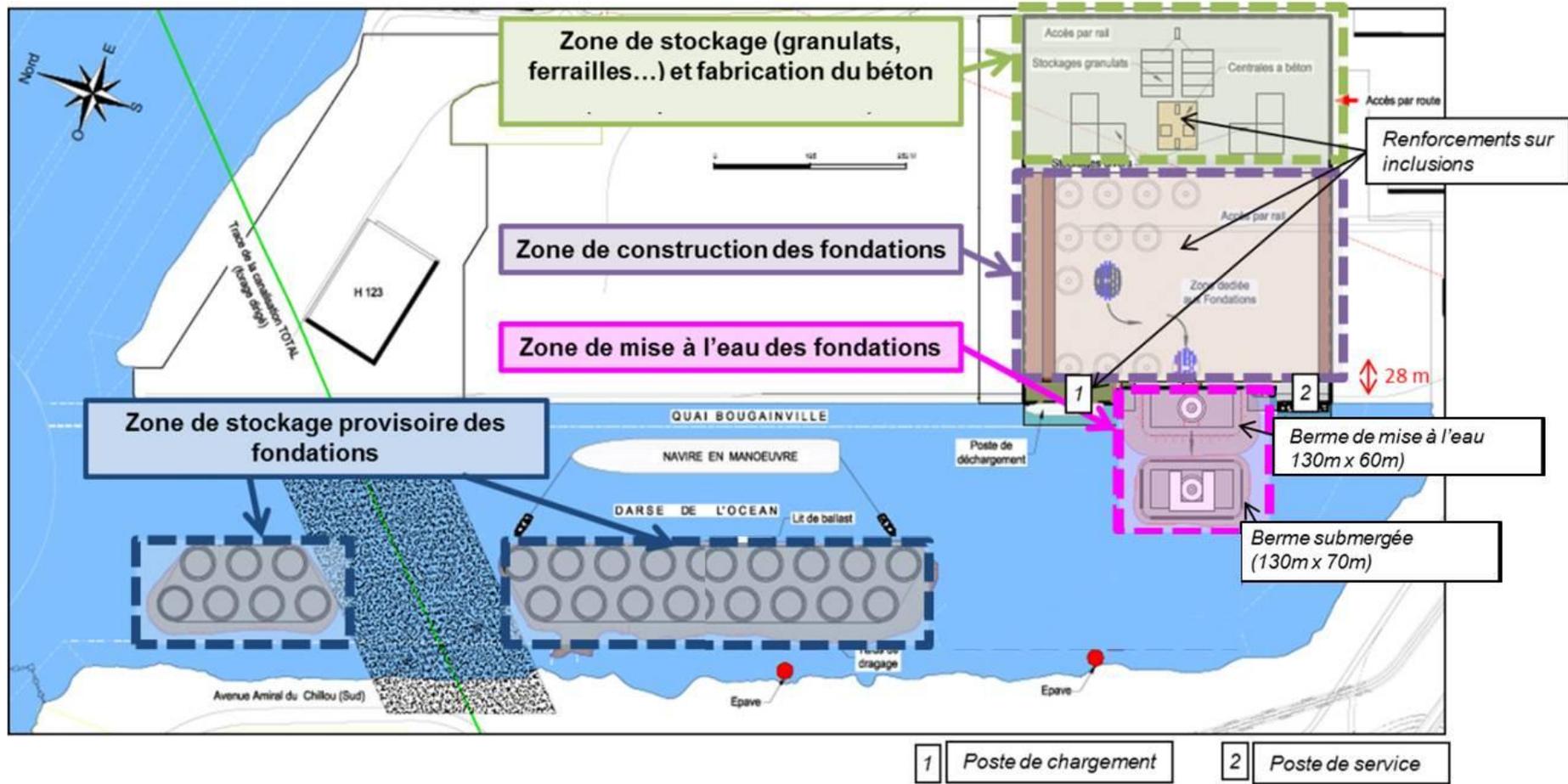


Figure 83 : Plans masse des aménagements

### B. Calendrier de réalisation

Les délais de réalisation pour la préparation du site dépendent de multiples paramètres tels que le nombre d'atelier mobilisés (pour les pieux ou inclusions rigides), les équipements mobilisés (dragues dépendant du degré de pollution des matériaux), et de la possibilité de réaliser des tâches en parallèle.

Une durée de 10 à 12 mois est prévue pour les travaux de construction du site. Le calendrier ci-après présente le planning de réalisation.

Figure 84 : *planning estimatif*

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Préparation de chantier</b>															
<b>Fondation des rails</b>															
mise en place des pieux (hors rails)															
<b>Zone de stockage terrestre</b>															
Renforcement par inclusions															
<b>Poste de déchargement</b>															
Renforcement par inclusions															
<b>Ouvrage de mise à l'eau</b>															
dragage															
Berme de mise à l'eau															
<b>Zone de stockage dans la darse</b>															
dragage															
Remblai d'assise															

Source : ARTELIA – EOHF, 2014

## 2.6 CALENDRIER DU PROGRAMME

Le calendrier du programme a été défini avec l'objectif d'une mise en service progressive du parc éolien en mer au large de Fécamp entre 2018 et 2020, conformément aux exigences de l'appel d'offres.

Le programme prévoit le commencement des travaux :

- En 2016 pour le site de fabrication des fondations gravitaires au Havre ;
- En 2016/2017 pour la base des opérations de maintenance à Fécamp ;
- En 2016/2017 pour le raccordement électrique ;
- En 2018 pour le parc éolien.

L'installation en mer durera approximativement entre 24 et 36 mois suivant les conditions météorologiques et les disponibilités des navires d'installation.

A titre indicatif, la séquence d'installation prévue à ce stade est la suivante :

- Installation du poste électrique, pendant environ 2 mois
- Installation des fondations, pendant 18 à 24 mois
- Installation des câbles électriques après l'installation des fondations, pendant 12 à 18 mois
- Installation des éoliennes après l'installation des câbles, pendant 12 à 18 mois

Il est probable que l'installation des fondations, des câbles, et des éoliennes soit réalisée en 2 ou 3 périodes, en laissant une période hivernale intermédiaire non travaillée ou utilisée pour rattraper un retard éventuel.

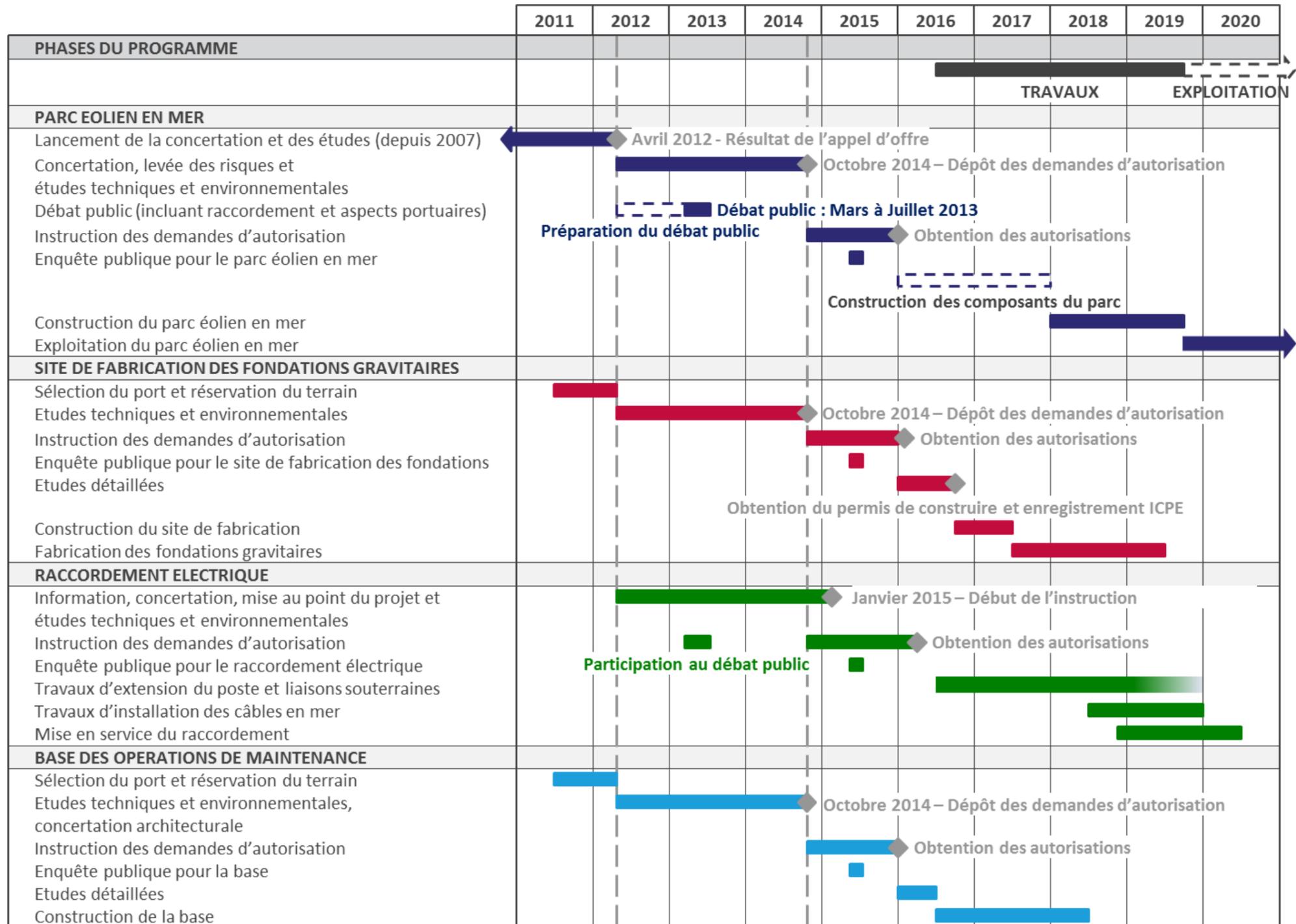
La mise en œuvre du raccordement permettra de respecter les objectifs fixés par le cahier des charges de l'appel d'offres relatifs à la mise en service des différentes tranches de production.

Le parc éolien au large de Fécamp sera ensuite exploité pendant une durée de l'ordre de 25 ans. Le démantèlement du parc et la remise en état du site sont prévus après la fin de la période d'exploitation du parc et avant l'expiration de la concession d'utilisation du domaine public maritime. Concernant les opérations de démantèlement, la durée totale des opérations en mer est estimée actuellement à 3 ans. Le calendrier réel pourra être adapté suivant la saisonnalité des opérations.

Le calendrier prévisionnel pour chaque projet du programme est présenté à la page suivante.



Figure 85 : Calendrier prévisionnel des travaux des projets du programme



SOURCE : EOHF, 2013, RTE, ARTELIA, 2014



### 3 - NOMS ET QUALITES DES AUTEURS DE L'ETUDE D'IMPACT ET DES ETUDES QUI ONT CONTRIBUE A SA REALISATION

Le tableau suivant mentionne les auteurs des études d'impact sur l'environnement des 4 projets. Pour plus de lisibilité, les noms des auteurs des expertises spécifiques ne sont pas indiqués dans ce présent tableau; se reporter aux fascicules B1, B2, B3 et B4 pour les consulter.

Projet	Structure	Auteur	Poste/en charge de
Parc éolien	BRLi	Nicolas Fraysse	Directeur de projet Gestion intégrée des Zones Côtières Suivi administratif-validation-rédaction
		Vincent Calland	Chef de projet Environnement et procédures réglementaires Validation-Rédaction-
		Jenny Bernard	Chargée de projet Environnement marin et évaluations environnementales Suivi technique- Rédaction-
		Odile Goedert-Weston	Chargée d'études Evaluations environnementales Rédacteur
		Jérémy Bosch	Chargé d'étude Evaluations environnementales Rédacteur
		Valérie Faure	Chargée d'études Milieu marin et évaluations environnementales- Rédacteur
		Franck Bellet	Directeur de la cartographie
		Julien Fournier	Cartographe
		Valérie Mathieu	Conception graphique
Raccordement	EGIS eau	Patrick Michel	Directeur du pôle métier Eau, Energie, Climat
		Delphine Beltramelli	Chef de projet Environnementaliste partie maritime
		Rémy Lagache	Chef de projet Environnementaliste partie terrestre
		Xavier Dolbeau	Expert en impacts d'aménagements portuaires

Projet	Structure	Auteur	Poste/en charge de
		Caroline Brinkert	Chargée d'études Environnementaliste partie maritime
		Heidi Herisson	Chargée d'études Environnementaliste partie terrestre
		Christophe Maugère	Technicien graphiste
		Fabien Richier	Technicien graphiste
Base des opérations de maintenance	ARTELIA Eau & Environnement	Thibault Saillard	Chef de projet ingénieur environnement fluvial et littoral
		Sébastien Ledoux	Directeur de projet ingénieur spécialiste en géomorphologie littorale et sous-marine
	TBM	Devrige Le Brazidec	Chargé d'étude en environnement et spécialiste avifaunes
		Gaël Bouchery	Chargé d'étude en environnement et spécialiste avifaunes
Site de fabrication des fondations gravitaires	ARTELIA Eau & Environnement	Thibault Saillard	Chef de projet ingénieur environnement fluvial et littoral
		Fabien Moison	Ingénieur d'étude environnement et aménagement littoral
		Sébastien Ledoux	Directeur de projet ingénieur spécialiste en géomorphologie littorale et sous-marine Contrôle technique et qualité
	TBM	Devrige Le Brazidec	Chargé d'étude en environnement et spécialiste avifaunes
		Gaël Bouchery	Chargé d'étude en environnement et spécialiste avifaunes