



## **Projet éolien en mer au large de Saint Nazaire**

**Dossier de précisions techniques,  
Annexe à la convention d'autorisation  
d'occupation du domaine public maritime**

Février 2017 – Version 1.0

---



## Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>AVANT-PROPOS.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1. SITUATION ET SUPERFICIE DE L'EMPRISE OCCUPEE .....</b>  | <b>5</b>  |
| 1.1. SITUATION ET SUPERFICIE DE L'EMPRISE QUI FAIT L'OBJET DE LA DEMANDE .....  | 5         |
| 1.2. SUPERFICIE DETAILLEE DE L'INSTALLATION DU PARC EOLIEN AU SEIN DE LA ZONE DE CONCESSION.....  | 7         |
| 1.3. PLAN DU SITE D'IMPLANTATION .....  | 9         |
| <b>2. DESTINATION, NATURE ET COUT DES TRAVAUX PROJETES .....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1. NATURE ET OBJET DE L'INSTALLATION.....   | 12        |
| 2.2. CONSISTANCE DE L'INSTALLATION.....   | 14        |
| 2.2.1. <i>Fondations</i> .....  | 14        |
| 2.2.2. <i>Eoliennes</i> .....   | 14        |
| 2.2.3. <i>Câbles électriques inter-éoliennes</i> .....  | 15        |
| 2.2.4. <i>Poste électrique en mer</i> .....   | 16        |
| 2.3. NATURE, CONSISTANCE ET VOLUME DES TRAVAUX .....  | 17        |
| 2.3.1. <i>Fondations</i> .....  | 17        |
| 2.3.2. <i>Eoliennes</i> .....   | 18        |
| 2.3.3. <i>Câbles électriques inter-éoliennes</i> .....  | 19        |
| 2.3.4. <i>Poste électrique en mer</i> .....   | 20        |
| 2.4. COUT DES TRAVAUX DU PROJET.....  | 22        |
| 2.4.1. <i>L'investissement</i> .....  | 22        |
| 2.4.2. <i>L'exploitation et la maintenance</i> .....  | 22        |
| 2.4.3. <i>Le coût du démantèlement et de la remise en état</i> .....  | 22        |
| <b>3. CALENDRIER DE REALISATION DES TRAVAUX ET DATE PREVUE DE MISE EN SERVICE .....</b>   | <b>23</b> |
| 3.1. CONSTRUCTION DU PARC EOLIEN EN MER AU LARGE DE SAINT NAZAIRE .....   | 23        |
| 3.2. DEMARRAGE PROGRESSIF DE L'EXPLOITATION .....   | 23        |
| <b>4. MODALITES DES MESURES D'EVITEMENT, DE REDUCTION ET DE COMPENSATION ET DES MESURES DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU PROJET.....</b>   | <b>24</b> |
| 4.1. CONTEXTE .....   | 24        |
| 4.2. MESURES D'EVITEMENT, DE REDUCTION ET DE COMPENSATION.....  | 25        |
| 4.3. MESURES DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL.....  | 25        |
| <b>5. NATURE DES OPERATIONS NECESSAIRES A LA REVERSIBILITE DES MODIFICATIONS APORTEES AU MILIEU NATUREL ET AU SITE, AINSI QU'A LA REMISE EN ETAT, LA RESTAURATION OU LA REHABILITATION DES LIEUX EN FIN DE TITRE OU EN FIN D'UTILISATION.....</b> | <b>27</b> |
| <b>6. LES MODALITES DE BALISAGE .....</b>   | <b>28</b> |
| 6.1. BALISAGE AERIEN .....  | 28        |
| 6.2. BALISAGE MARITIME .....  | 28        |
| <b>7. LES MESURES DE SECURITE MARITIME .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>8. LES MODALITES DE DIFFUSION DES AVIS AUX NAVIGATEURS.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>9. TABLE DES TABLEAUX .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>10. TABLE DES CARTES.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>11. TABLE DES FIGURES .....</b>  | <b>32</b> |

## Avant-propos

Le projet est porté par la société Parc du Banc de Guérande. Il consiste en l'installation d'un parc de 80 éoliennes en mer, au large de Saint Nazaire sur la façade maritime de Loire-Atlantique.

Ce projet est issu de l'appel d'offres lancé par l'État en juillet 2011, qui portait sur cinq zones désignées « propices au développement de l'éolien en mer », à l'issue du travail des instances de concertation et de planification, pilotées pour chacune des façades maritimes de France métropolitaine, par le préfet maritime et le préfet de région.

Sa réalisation nécessite l'obtention des autorisations suivantes :

- Concession d'utilisation du domaine public maritime (Articles L.2124-1 et suivants, et R.2124-2 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques)
- Autorisation au titre de la Police de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Articles L.214-1 et suivants et R214-1 et suivants du code de l'environnement)

La société Parc du Banc de Guérande sollicite une concession d'utilisation du domaine public maritime pour la durée maximale prévue par la réglementation, afin de construire et exploiter un parc éolien en mer d'une capacité de 480 MW.

Le présent dossier est une annexe à la convention sur la concession d'utilisation du domaine public maritime relative au projet éolien en mer de Saint-Nazaire.

Il rassemble les éléments techniques relatifs aux modalités d'occupation du domaine public maritime : réalisation des travaux de pose, de dépose et de maintenance, ainsi que le suivi environnemental.

## 1. Situation et superficie de l'emprise occupée

Définitions :

Pour la bonne compréhension de la présente, les termes suivants auront la signification stipulée ci-après :

- Zone de concession : désigne la zone correspondant au périmètre géographique du lot 5 objet de l'appel d'offres du 11 juillet 2011 et qui fait l'objet de la présente demande de concession ;
- Zone d'implantation : désigne l'implantation du parc éolien au sein de la zone de concession.

### 1.1. Situation et superficie de l'emprise qui fait l'objet de la demande

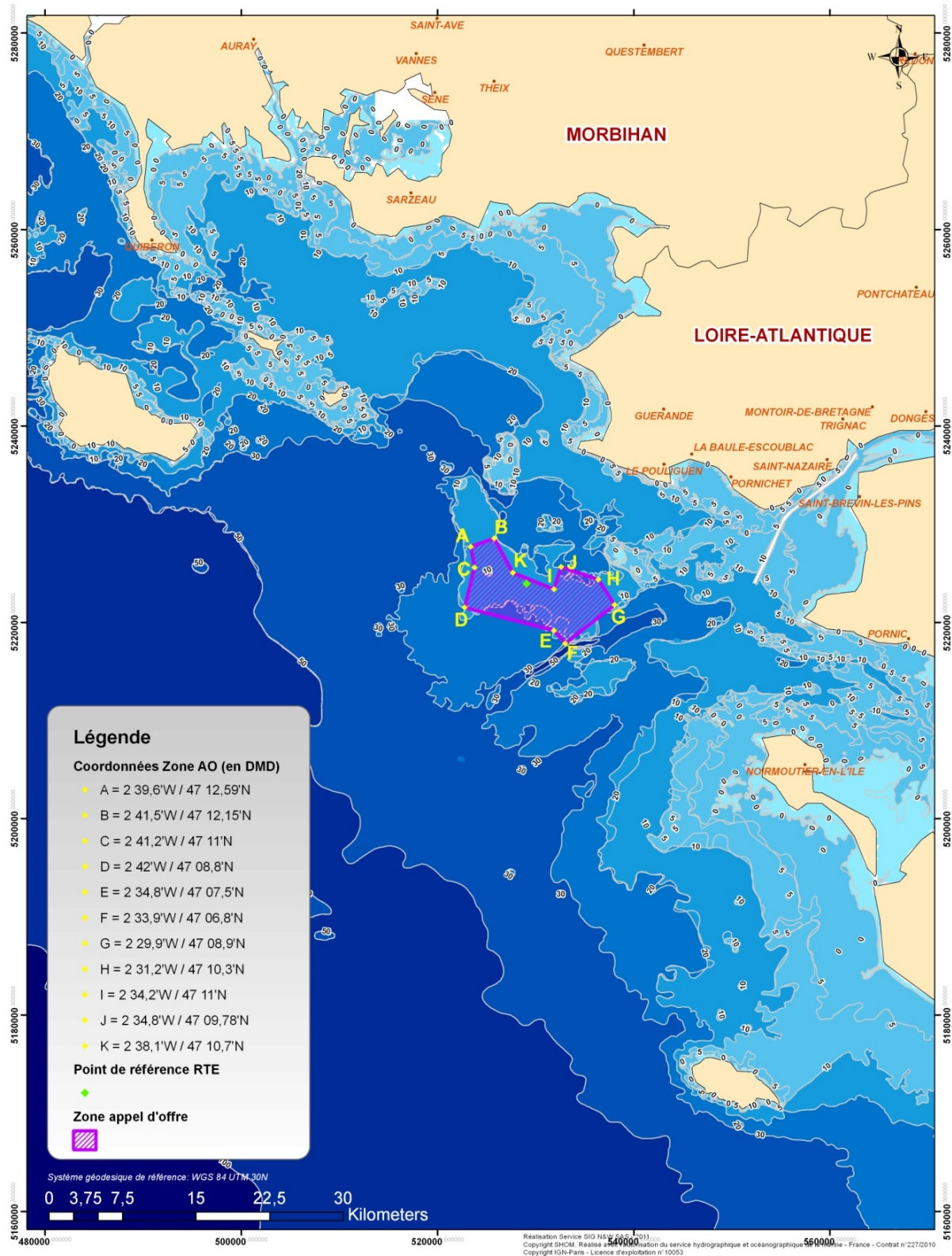
La zone de concession se situe au large de Saint Nazaire en Loire-Atlantique, dans les eaux territoriales françaises à plus de 12km de la pointe du Croisic et de la pointe de Penchâteau, au large de l'embouchure de la Loire. Le banc de Guérande, zone rocheuse de hauts fonds située au sud-ouest de la presqu'île de Guérande, s'étend sur environ 22km de long et 14km de large et est orienté selon une direction nord-ouest – sud-est. Les profondeurs y varient entre 13 et 23m Côte Marine (CM).

La zone a une surface totale de 78 km<sup>2</sup> et est délimitée par les sommets dont les coordonnées géographiques sont les suivantes :

| Points de référence | Longitude  | Latitude    |
|---------------------|------------|-------------|
| A                   | 2°39.6' W  | 47°12.59' N |
| B                   | 2°41.5' W  | 47°12.15' N |
| C                   | 2°41.2' W  | 47°11' N    |
| D                   | 2°42' W    | 47°08.8' N  |
| E                   | 2°34.8' W  | 47°07.5' N  |
| F                   | 2°33.9' W  | 47°06.8' N  |
| G                   | 2°29.9' W  | 47°08.9' N  |
| H                   | 2°31.2' W  | 47°10.3' N  |
| I                   | 2°34.-2' W | 47°11' N    |
| J                   | 2°34.8' W  | 47°09.78' N |
| K                   | 2°38.1' W  | 47°10.7' N  |

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone de concession

Le plan ci-dessous localise la zone de concession demandée sur le domaine public maritime.



Carte 1 : Localisation de la zone de concession au large de Saint Nazaire

## 1.2. Superficie détaillée de l'installation du parc éolien au sein de la zone de concession

---

L'installation du parc éolien comprend les ouvrages suivants :

- les fondations des éoliennes et leurs éventuelles protections anti-affouillement (ces protections concernent seulement les éoliennes situées sur les fonds meubles),
- la fondation du poste électrique en mer,
- les câbles inter-éoliennes et leurs éventuelles protections.

La surface au sol concernée par l'installation du parc correspond à l'emprise des ouvrages du parc énoncés ci-dessus ; elle est répartie par ouvrage dans le tableau 2 ci-après.

La surface au sol concernée par les travaux correspond à :

- L'emprise des installations du parc éolien détaillée ci-dessus,
- L'emprise des pieds des navires installant les fondations, les éoliennes et le poste électrique,
- L'emprise des travaux de pose des câbles.

Les surfaces concernées des ouvrages ou travaux décrits ci-dessus sont explicitées dans le tableau 3 ci-après.

|                                  | Type de construction ou outils |                                    | Superficie impactée par unité (m <sup>2</sup> ) | Surface totale impactée (m <sup>2</sup> )       | Surface totale impactée (km <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|---|--|
| Eoliennes (80 unités)            | Fondations                     | Fondation d'environ 7m de diamètre | 38  | <b>3 077</b>                                    | <b>0,0031</b>                              |
| Câblage (au sol, environ 120 km) | Enrochement ou coquille        | Si enrochement à 100 %             | 1400 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire         | <b>1 680 000</b>                                | <b>1,68</b>                                |
|                                  |                                | Si coquille à 100%                 | 100 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire          | <b>120 000</b>                                  | <b>0,12</b>                                |
| Poste électrique en mer          | Fondation <i>Jacket</i>        | Pieux de la fondation (4 unités)   | ≈30   | <b>≈120</b>                                     | <b>0,00012</b>                             |
| <b>Total</b>                     |                                |                                    |   | <b>entre 123 197 et 1 683 197 m<sup>2</sup></b> | <b>Entre 0,12 et 1,68 km<sup>2</sup></b>   |

**Tableau 2 : Surface au sol impactée par les différentes structures du parc éolien**

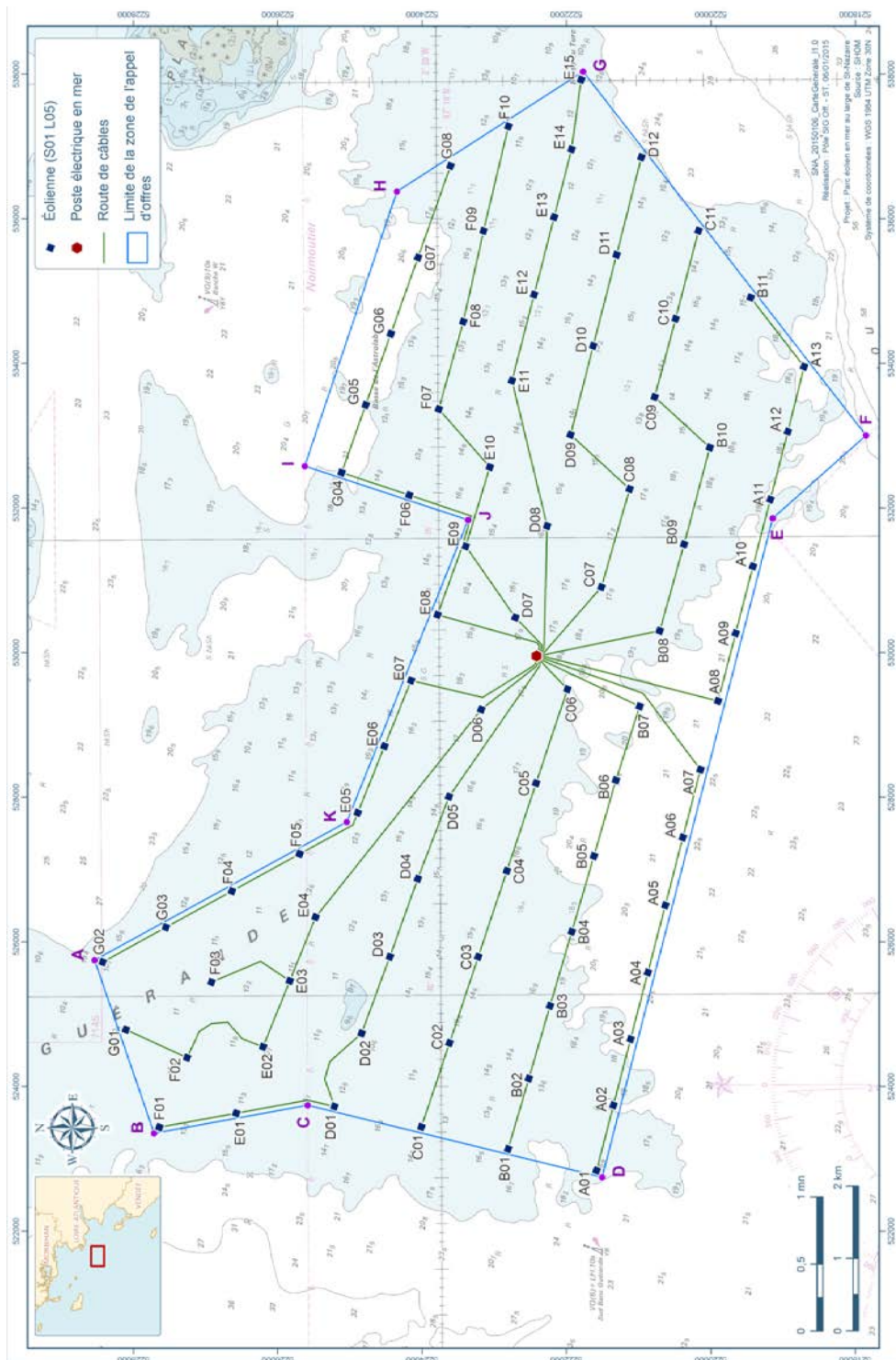
| Composant               | Sous-composant et hypothèses         |   | Nombre d'unités         | Superficie impactée par unité (m <sup>2</sup> ) | Surface totale impactée (m <sup>2</sup> )       | Surface totale impactée (km <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------|---|---|--|
| Eoliennes               | Fondations de type monopieux         | Fondation d'environ 7m de diamètre  | 80 fondations           | 38  | <b>3077</b>                                     | <b>0,003</b>                               |
|                         | Atelier d'installation des éoliennes | Barges Jack up (110 m <sup>2</sup> par pied)  | 80 positions de jack-up | 660   | <b>52 800</b>                                   | <b>0,05</b>                                |
| Câblage                 | Câbles, coquille ou enrochement      | Si enrochement à 100 %  | 120km au total au sol   | 1400 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire         | <b>1 680 000</b>                                | <b>1,68</b>                                |
|                         |                                      | Si coquille à 100%  | 120km au total au sol   | 100 m <sup>2</sup> pour 100 m linéaire          | <b>120 000</b>                                  | <b>0,12</b>                                |
| Poste électrique en mer | Fondation <i>Jacket</i>              | Pieux de la fondation (4 unités)  | 4 pieux                 | 30  | <b>120</b>                                      | <b>0,00012</b>                             |
|                         |                                      | Barges Jack up pour le poste électrique et les pieux du jack-up (110 m <sup>2</sup> par pied) | 6 pieds                 | 110   | <b>660</b>                                      | <b>0,0006</b>                              |
| <b>Total</b>            |                                      |   |                         |   | <b>Entre 176 657 et 1 736 657 m<sup>2</sup></b> | <b>Entre 0,17 et 1,7 km<sup>2</sup></b>    |

**Tableau 3 : Surface au sol impactée par les ateliers de chantier du parc éolien**

La surface totale au sol impactée par l'ensemble des équipements et travaux du parc éolien est comprise entre 0,17 et 1,7 km<sup>2</sup>. Cela représente entre 0,21 et 2,1% de la surface totale de la zone de concession (78 km<sup>2</sup>).



### 1.3. Plan du site d'implantation



Carte 2 : Implantation des éoliennes, des câbles inter éoliennes, et du poste électrique en mer prévus pour le parc éolien de Saint Nazaire (source EMF).

| Numéro de l'éolienne | Coordonnées X | Coordonnées Y | Numéro de l'éolienne | Coordonnées X | Coordonnées Y |
|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|
| A13                  | 2° 33,144' O  | 47° 7,260' N  | C09                  | 2° 33,466' O  | 47° 8,378' N  |
| A01                  | 2° 41,927' O  | 47° 8,842' N  | C10                  | 2° 32,610' O  | 47° 8,218' N  |
| A05                  | 2° 39,027' O  | 47° 8,319' N  | C06                  | 2° 36,659' O  | 47° 9,044' N  |
| A06                  | 2° 38,288' O  | 47° 8,186' N  | C01                  | 2° 41,442' O  | 47° 10,150' N |
| A12                  | 2° 33,851' O  | 47° 7,383' N  | C04                  | 2° 38,643' O  | 47° 9,503' N  |
| A10                  | 2° 35,325' O  | 47° 7,650' N  | C05                  | 2° 37,684' O  | 47° 9,281' N  |
| A02                  | 2° 41,214' O  | 47° 8,713' N  | C02                  | 2° 40,524' O  | 47° 9,938' N  |
| A04                  | 2° 39,761' O  | 47° 8,452' N  | C07                  | 2° 35,541' O  | 47° 8,785' N  |
| A07                  | 2° 37,544' O  | 47° 8,052' N  | C08                  | 2° 34,470' O  | 47° 8,571' N  |
| A11                  | 2° 34,594' O  | 47° 7,518' N  | C11                  | 2° 31,649' O  | 47° 8,043' N  |
| A09                  | 2° 36,054' O  | 47° 7,782' N  | D10                  | 2° 32,901' O  | 47° 8,836' N  |
| A03                  | 2° 40,490' O  | 47° 8,583' N  | D11                  | 2° 31,906' O  | 47° 8,658' N  |
| A08                  | 2° 36,795' O  | 47° 7,916' N  | D02                  | 2° 40,414' O  | 47° 10,596' N |
| B10                  | 2° 34,022' O  | 47° 7,968' N  | D04                  | 2° 38,726' O  | 47° 10,170' N |
| B06                  | 2° 37,658' O  | 47° 8,683' N  | D06                  | 2° 36,875' O  | 47° 9,689' N  |
| B07                  | 2° 36,851' O  | 47° 8,502' N  | D05                  | 2° 37,829' O  | 47° 9,933' N  |
| B04                  | 2° 39,311' O  | 47° 9,019' N  | D01                  | 2° 41,215' O  | 47° 10,801' N |
| B08                  | 2° 36,023' O  | 47° 8,351' N  | D09                  | 2° 33,873' O  | 47° 9,010' N  |
| B02                  | 2° 40,916' O  | 47° 9,345' N  | D03                  | 2° 39,578' O  | 47° 10,382' N |
| B05                  | 2° 38,486' O  | 47° 8,852' N  | D12                  | 2° 30,841' O  | 47° 8,468' N  |
| B11                  | 2° 32,385' O  | 47° 7,657' N  | D07                  | 2° 35,871' O  | 47° 9,431' N  |
| B03                  | 2° 40,123' O  | 47° 9,184' N  | D08                  | 2° 34,869' O  | 47° 9,188' N  |
| B01                  | 2° 41,687' O  | 47° 9,501' N  | F06                  | 2° 34,523' O  | 47° 10,219' N |
| B09                  | 2° 35,079' O  | 47° 8,165' N  | E14                  | 2° 30,748' O  | 47° 8,990' N  |
| C03                  | 2° 39,582' O  | 47° 9,720' N  | F10                  | 2° 30,495' O  | 47° 9,462' N  |
| G04                  | 2° 34,275' O  | 47° 10,725' N | G06                  | 2° 32,757' O  | 47° 10,350' N |
| E03                  | 2° 39,837' O  | 47° 11,130' N | E09                  | 2° 35,088' O  | 47° 9,798' N  |
| E12                  | 2° 32,338' O  | 47° 9,276' N  | E06                  | 2° 37,272' O  | 47° 10,413' N |

| Numéro de l'éolienne | Coordonnées X | Coordonnées Y | Numéro de l'éolienne          | Coordonnées X | Coordonnées Y |
|----------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| E05                  | 2° 38,001' O  | 47° 10,616' N | F05                           | 2° 38,448' O  | 47° 11,052' N |
| E07                  | 2° 36,555' O  | 47° 10,213' N | G03                           | 2° 39,245' O  | 47° 12,056' N |
| F01                  | 2° 41,433' O  | 47° 12,110' N | G08                           | 2° 30,925' O  | 47° 9,897' N  |
| E13                  | 2° 31,491' O  | 47° 9,124' N  | F04                           | 2° 38,852' O  | 47° 11,560' N |
| E11                  | 2° 33,278' O  | 47° 9,445' N  | E04                           | 2° 39,142' O  | 47° 10,936' N |
| G02                  | 2° 39,622' O  | 47° 12,529' N | G01                           | 2° 40,364' O  | 47° 12,358' N |
| E01                  | 2° 41,284' O  | 47° 11,535' N | E02                           | 2° 40,558' O  | 47° 11,332' N |
| F03                  | 2° 39,846' O  | 47° 11,716' N | F02                           | 2° 40,674' O  | 47° 11,901' N |
| F07                  | 2° 33,584' O  | 47° 9,996' N  | F08                           | 2° 32,629' O  | 47° 9,808' N  |
| G05                  | 2° 33,534' O  | 47° 10,542' N | G07                           | 2° 31,922' O  | 47° 10,143' N |
| E15                  | 2° 29,988' O  | 47° 8,915' N  | F09                           | 2° 31,638' O  | 47° 9,652' N  |
| E10                  | 2° 34,221' O  | 47° 9,615' N  |                               |               |               |
| E08                  | 2° 35,837' O  | 47° 10,013' N |                               |               |               |
|                      |               |               | Poste électrique en mer (OSS) | 2° 36,290' O  | 47° 9,271' N  |

**Tableau 4 : Coordonnées géographiques WGS84 de l'ensemble des éoliennes (référencées selon la carte 2) et du poste électrique en mer (OSS)**

Ces cartes et coordonnées sont fournies à titre indicatif : la localisation précise des éoliennes et des câbles au sein de la zone de concession est susceptible d'être adaptée en fonction des contraintes géologiques et géomorphologique.

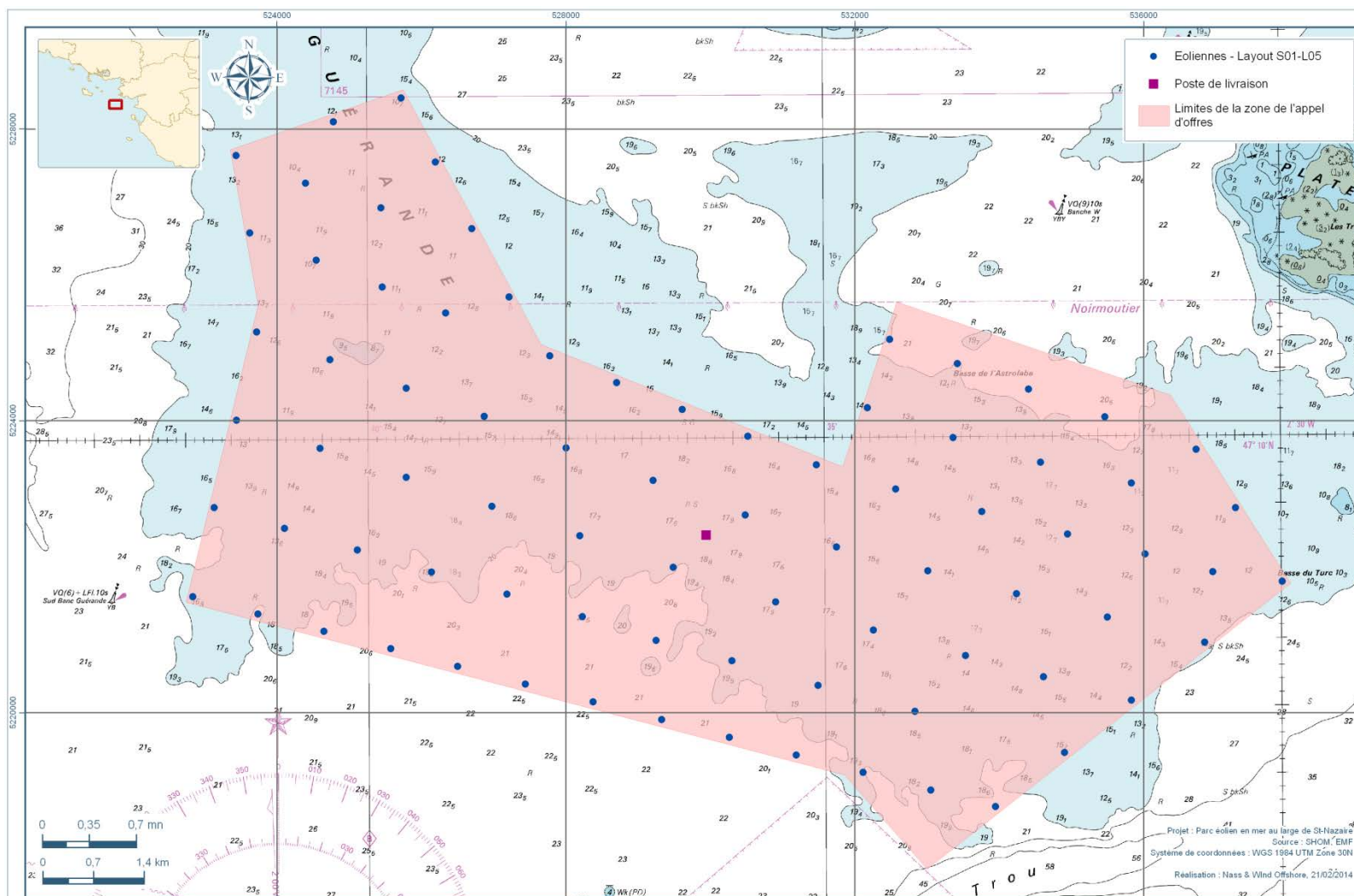
## 2. Destination, nature et coût des travaux projetés

### 2.1. Nature et objet de l'installation

---

Le projet concerne la réalisation d'un parc éolien en mer au large de Saint Nazaire en Loire-Atlantique, au sein de la zone de concession, situé dans les eaux territoriales françaises à plus de 12km des côtes, à des profondeurs variant de -12 à -23 m PBMA.

Composé de 80 aérogénérateurs d'une puissance unitaire de 6 MW, le parc aura une capacité de 480 MW, permettant une production annuelle d'environ 1 735 GWh d'électricité d'origine renouvelable.



Carte 3 : Implantation prévue des éoliennes du projet de Saint Nazaire (source EMF).

## 2.2. Consistance de l'installation

---

Cette section décrit les grandes caractéristiques des composants du projet prévu sur l'emprise objet de la présente demande de concession d'utilisation du domaine public maritime.

### 2.2.1. Fondations

---

Les fondations de type monopieu choisies pour les éoliennes se composent de deux parties : le monopieu *stricto sensu*, tube métallique d'environ 7m de diamètre et d'environ 40m de long inséré dans le sol sur une vingtaine de mètres de profondeur, et la pièce de transition qui vient coiffer le monopieu et qui supporte les structures d'accès, la plate-forme de travail, et l'éolienne. Si nécessaire, une couche de matériaux rocheux pourra être mise en place autour des fondations des éoliennes situées sur les fonds meubles afin d'assurer une protection anti-affouillement. Les caractéristiques des fondations sont présentées dans la Figure 1 ci-dessous.

### 2.2.2. Eoliennes

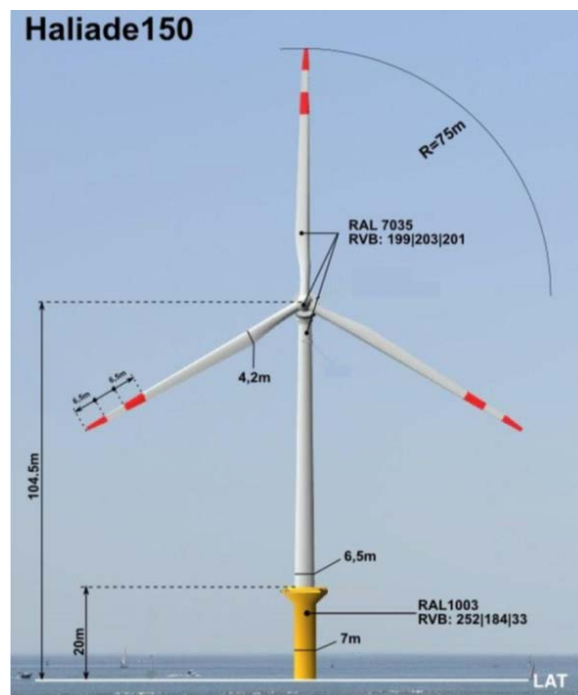
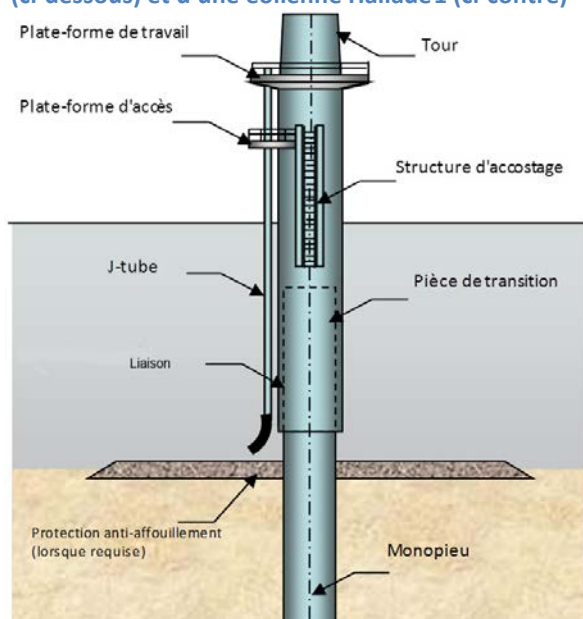
---

L'éolienne retenue pour ce projet est l'Haliade 150 General Electric (ex Alstom), dont les principales caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Puissance nominale      | 6 MW (megawatts)                                  |
| Diamètre du rotor       | 150 mètres  |
| Hauteur de moyeu        | 109 m environ au-dessus du niveau moyen de la mer |
| Hauteur en bout de pôle | 184 m environ au-dessus du niveau moyen de la mer |

Les éoliennes sont configurées pour tourner dès 3m/s de vent (soit 11km/h). Elles fonctionnent à pleine puissance à partir de 12m/s (45km/h) et s'arrêtent automatiquement lorsque le vent dépasse 25m/s (90km/h).

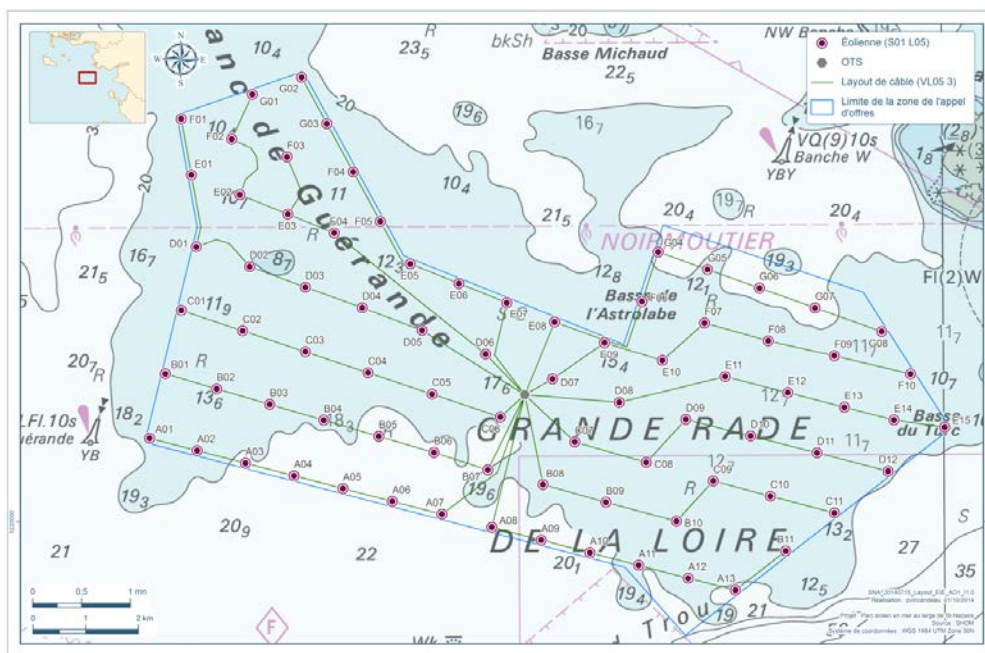
Figure 1 : Schéma de principe d'une fondation monopieu (ci-dessous) et d'une éolienne Haliade1 (ci-contre)



### 2.2.3. Câbles électriques inter-éoliennes

Le réseau de câbles électriques inter-éoliennes sous-marins relie les éoliennes à un unique poste électrique en mer qui reçoit l'électricité produite par chaque turbine. Par l'intermédiaire de fibres optiques, les câbles inter-éoliennes assurent également la transmission d'informations au sein du parc éolien. La capacité maximale des câbles et la tension de sortie des turbines (33 kV) conditionnent l'agencement des câbles inter-éoliennes au sein du parc. Les 80 éoliennes sont regroupées en 12 grappes différentes comprenant chacune de 6 à 7 éoliennes. La longueur totale de câbles nécessaire atteint environ 120km.

<sup>1</sup> Les longueurs indiquées sont des ordres de grandeur donnés à titre indicatif.



Carte 4 : Implantation prévue des éoliennes, de la sous-station et des câbles inter-éoliennes (source EMF).

#### 2.2.4. Poste électrique en mer

Le parc éolien est équipé d'un poste électrique en mer qui sert au raccordement du parc éolien au réseau public de transport d'électricité géré par RTE. Le poste électrique assure l'élévation de la tension électrique, la protection du parc vis-à-vis du réseau terrestre, le comptage de l'énergie produite et le contrôle et la supervision du parc. La fondation de la sous-station sera de type Jacket (cf. Figure 2) et fixée par 4 à 8 pieux de 1,5 à 3m de diamètre implantés dans le sol à une profondeur de 20 à 50m. Une alternative serait d'utiliser une fondation de type gravitaire.



Figure 2 : Poste électrique en mer du parc éolien de Walney (DONG Energy)



## 2.3. Nature, consistance et volume des travaux

---

Cette section décrit les travaux associés aux composants du projet installés sur l’emprise objet de la demande de concession d’utilisation du domaine public maritime.

### 2.3.1. Fondations

---

#### Processus d’installation

Une fois amenés sur site, les monopieux sont soulevés et placés dans un guide attaché au navire d’installation. Le dispositif guide le monopieu tandis qu’il effectue sa descente vers le fond de la mer pour s’enfoncer sous son propre poids dans le substrat.



Figure 3 : Descente du monopieu dans son guide (source DONG Energy).

Au regard des caractéristiques du fond marin (substrat dur) de la zone d’implantation du parc, l’installation des monopieux se fera de préférence par battage seul, ou par battage-forage-battage. La phase critique réside dans l’installation (et le retrait) du navire sur ses jambes, la hauteur significative de houle ne devant pas excéder 2m, avec une période pic de 12s au maximum. Le choix final entre les deux solutions techniques sera étudié pour chaque éolienne en fonction des conditions de sol afin d’optimiser la durée d’installation en prenant en compte des paramètres tels que la vitesse de forage et le temps nécessaire à la stabilisation du pieu.

L’installation des pièces de transition se fera depuis un navire équipé d’une grue à grande capacité de levage. Une fois en position, la grue du navire lève la pièce de transition depuis le pont jusqu’au-dessus du monopieu. La position de la pièce de transition est alors ajustée à sa position finale à l’aide de vérins hydrauliques pour atteindre les tolérances d’installation requises pour la connexion entre le monopieu et la pièce de transition. La jonction entre le monopieu et la pièce de transition est assurée par le remplissage avec un ciment spécial dans l’espace prévu à la conception entre les deux éléments (une solution alternative de jonction par boulonnage est également envisagée).



Figure 4 : Mise à l'eau de la pièce de transition (source DONG Energy).

### 2.3.2. Eoliennes

#### Processus d'installation

Lorsque le navire est chargé, il transite jusqu'au site d'implantation des éoliennes et se stabilise à environ 25 m de la fondation. Il réalise ensuite le positionnement de ses jambes sur le fond et s'élève de plusieurs mètres au-dessus du niveau de l'eau.

Le premier tronçon du mât est levé, basculé, puis fixé sur la fondation. S'en suit l'installation des autres tronçons. Le sous-ensemble rotor-nacelle est ensuite assemblé au mât. Enfin les pales sont fixées à l'ensemble.

La manutention et la mise à la verticale du rotor représentent des opérations délicates compte tenu des dimensions et de la vulnérabilité de ce rotor.



Figure 5 : Navire d'installation après montage d'un aérogénérateur (source A2SEA).

L'installation des éoliennes sera réalisée après l'installation des câbles électriques afin de permettre les essais de l'éolienne avant de déplacer la plateforme autoélevatrice vers le point d'installation suivant.

Une fois l'un des aérogénérateurs 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 tous les aérogénérateurs transportés soient installés. Il revient alors au quai du port de pré-assemblage pour charger d'autres aérogénérateurs.

### 2.3.3. Câbles électriques inter-éoliennes



Figure 6 : Barge équipée d'un carrousel (source DONG Energy)

#### Processus d'installation

L'installation des câbles électriques inter-éoliennes se découpe en trois activités :

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

La pose d'un câble est généralement limitée par une hauteur significative de houle de 1,5 m et un courant de 1 nœud.

Une fois sur site, le câble est amené dans la partie haute de la fondation. A proximité de la fondation, les câbles sont protégés par enrochement ou par matelas sur le fond de la mer. Les câbles relient ensuite les éoliennes entre elles et au poste électrique en mer.

Les câbles inter-éoliens sont longs d'un kilomètre en moyenne, et la pose d'un câble nécessite entre une et deux journées de travail.

#### Protection des câbles

Différentes techniques seront utilisées pour protéger les câbles ; ces techniques peuvent être regroupées en 2 catégories :

- protection par ensouillage : tranchage et/ou « jetting » (fond sableux au Nord Est notamment)

- protection externe : coquilles / coquilles avec tiges de fixation et/ou enrochement, et ponctuellement des matelas béton.

L'utilisation de ces différentes techniques se fera en fonction des conditions rencontrées sur le site. Les modalités techniques définitives de mise en œuvre de la protection des câbles électriques seront déterminées lors des appels d'offre spécifiques à la réalisation des travaux. Dans le cadre de l'étude d'impact environnementale du parc, la solution technique la plus pénalisante (enrochement) a été retenue pour réaliser l'évaluation environnementale.

#### 2.3.4. Poste électrique en mer

---

La fondation jacket<sup>2</sup> et la superstructure de la sous-station seront transportées et installées par barge au niveau de l'emplacement prévu. L'installation se déroulera suivant trois étapes :

- pose de la fondation sur le fond marin ;
- fixation de la fondation par forage-battage ou forage seul des pieux, jointage et mise à niveau de l'interface entre la fondation et la superstructure ;
- pose et soudage de la partie supérieure.

Cette installation sera effectuée sur une durée de 15 à 20 jours en fonction des conditions météorologiques.

##### Installation de la fondation

Une fois hissée par la grue du navire d'installation et posée sur le fond, la fondation jacket est fixée à l'aide de 4 à 8 pieux d'ancrage de 1,5 à 3 m de diamètre, longs de 40 à 60 m. Deux méthodes seront utilisées pour installer les pieux du jacket : le battage-forage-battage et le forage seul dans le cas où le battage s'avère impossible pour des raisons géotechniques ou de sécurité.

Le pieu est hissé par la grue du navire d'installation et placé dans un guide le long du navire. Il est ensuite descendu jusqu'à toucher et pénétrer dans le fond sous son propre poids. Chaque pieu est ensuite enfoncé en 48 à 72 h.

##### Installation de la superstructure

La superstructure de la sous-station, comprenant les installations électriques, sera fabriquée et testée à terre puis transportée par barge. Ce navire sera équipé d'un moyen de levage permettant de hisser la structure électrique sur sa fondation. Une fois stabilisée, la partie supérieure sera soudée à la fondation.

---

<sup>2</sup> Une fondation de type gravitaire est peu probable mais pas complètement écartée à ce jour.

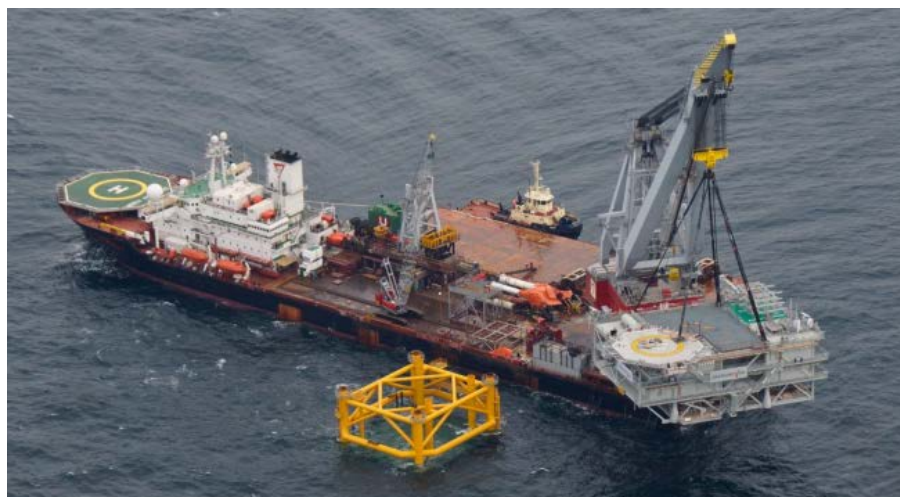


Figure 7 : Installation d'une sous-station (source DONG Energy).

## 2.4. Coût des travaux du projet

---

Les montants qui figurent dans les paragraphes suivants sont donnés en fonction des informations disponibles à ce stade du projet et sont donc susceptibles de faire l'objet d'ajustements en cours de projet.

### 2.4.1. L'investissement

---

Les coûts de développement et de réalisation du projet éolien sont estimés à environ deux milliards d'euros. Les dépenses d'investissement comprennent les coûts de développement, des études, de fourniture, d'assemblage, de test, d'installation et de mise en service des composants du projet, ainsi que les coûts des assurances en période de construction. Ce montant inclut également l'investissement lié aux ouvrages de raccordement du parc au réseau public d'électricité par RTE. Un montant prévisionnel d'aléas couvre une partie des risques inhérents au projet pendant la phase de développement et de construction.

### 2.4.2. L'exploitation et la maintenance

---

Après la mise en service complète de l'installation, le coût de la maintenance et de l'exploitation est estimé à soixante millions d'euros par an. Cela correspond à l'achat de pièces de rechange des éoliennes, aux frais logistiques pour accéder au parc éolien en mer, aux dépenses d'exploitation - charges salariales des équipes responsables du suivi de la production et de la maintenance et de la gestion administrative du projet, ainsi que des coûts de télécommunication et d'équipements informatiques - et les dépenses liées aux assurances.

### 2.4.3. Le coût du démantèlement et de la remise en état

---

La présente demande d'autorisation prévoit le démantèlement des installations et la remise en état du site à la fin de la durée de la concession. A cet effet, conformément au cahier des charges de l'appel d'offres sur l'éolien en mer, la société PBG constituera des garanties financières pour le démantèlement avant la mise en service de chaque tranche de l'installation (article 6.1 du Cahier des charges – Garanties financières pour démantèlement). Le montant de ces garanties ne peut être inférieur à 50 000€ par MW installé, soit 24 M€. Les coûts de démantèlement intègrent les coûts de démontage et de transport des matériaux ainsi que leur traitement par une filière spécialisée.

### 3. Calendrier de réalisation des travaux et date prévue de mise en service

Le calendrier a été défini avec l'objectif d'une mise en service progressive du parc éolien en mer au large de Saint Nazaire à partir de 2018, conformément aux exigences du cahier des charges de l'appel d'offres. Il ne tient pas compte des cas de report de la mise en service prévus par l'article 4.5 dudit cahier des charges de l'appel d'offre.

La planification des travaux fait l'objet de l'article 3.2 de la Convention de concession d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports établie entre l'État et la Société Parc du Banc de Guérande.

#### **3.1. Construction du parc éolien en mer au large de Saint Nazaire**

---

Le calendrier prévisionnel du projet prévoit que les travaux de construction démarrent à terre à partir de 2016, l'installation des équipements en mer à partir de 2017 ou 2018.

Les travaux en mer sont prévus pour une durée comprise entre 24 et 36 mois.

#### **3.2. Démarrage progressif de l'exploitation**

---

L'exploitation du parc devrait démarrer progressivement à partir de 2018. À l'issue de la période d'exploitation le parc éolien en mer sera démantelé et le site remis en état.

## 4. Modalités des mesures d'évitement, de réduction et de compensation et des mesures de suivi environnemental du projet

### 4.1. Contexte

---

Cette section décrit les grandes caractéristiques du site objet de la présente demande de concession d'utilisation du domaine public maritime, telles qu'elles découlent des études menées sur la zone de concession du parc et sur les aires d'étude.

Les thématiques suivantes sont notamment abordées :

- Caractéristiques physiques
- Vents
- Bathymétrie et géomorphologie des fonds
- Hydrodynamisme et dynamique hydro sédimentaire
- Qualité de l'eau et des sédiments
- Caractéristiques du milieu naturel
- Définition des aires d'études
- Habitats et réseaux Natura 2000
- Espèces benthiques
- Ressources halieutiques
- Mammifères marins
- Avifaune
- Chiroptères
- Caractéristiques du paysage
- Caractéristiques des activités humaines sur l'emprise du site
- Pêche professionnelle
- Nautisme
- Trafic maritime
- Navigation et sécurité
- Autres activités
- Servitudes radioélectrique et aéronautique sur la zone – autres servitudes
- Risques technologiques



## 4.2. Mesures d'évitement, de réduction et de compensation

Les modalités concernant les mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts, à mettre en œuvre sont celles visées à l'arrêté du 17 mars 2016 n°2016/BPUP/036, le cas échéant actualisé, portant autorisation, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, au bénéfice de la société Parc du Banc de Guérande (PBG).

Ces modalités seront encadrées par un Comité Technique Environnemental visé à l'arrêté du 17 mars 2016 n°2016/BPUP/036.

| Mesure  | Phase                                    | Objectifs  | Mesure de suivi associée                                 |
|---|--|--|--|
| MR 6 : Émission de signaux acoustiques  | Travaux                                  | Éloigner les mammifères marins lors des phases de battage  | MSU 7 et MSU 8   |
| MR 7 : Augmentation progressive du battage « Soft Start » et ou « ramp up »   | Travaux                                  | Éloigner les mammifères marins et les espèces sensibles lors des phases de battage   | suivi de MSU 8 et MSU 9 en phase exploitation            |
| MR 8 : Réduction de l'attractivité nocturne du parc éolien (nombre et intensité des éclairage)  | Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Diminuer l'attractivité lumineuse du parc éolien vis à vis de l'avifaune et des chiroptères  | Programme de suivi avifaune MSU 10 et Chiroptères MSU 11 |
| MR 9 : Réduction des dérangements de la halte migratoire du Puffin des Baléares   | Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Améliorer les conditions d'accueil de la halte migratoire du Puffin des Baléares   |  |
| MR10 : Soutien à la mise en œuvre d'action de préservation des îlots utilisés comme site de nidification, en particulier du goéland marin | Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Actions de gestion et de conservation permettant d'améliorer les paramètres démographiques des populations d'oiseaux marins nicheurs |  |
| MR19 : Création de pôles d'observation  | Travaux<br>Exploitation                  | Favoriser l'acceptation paysagère du projet, tout en veillant à la bonne intégration environnementale de ces pôles                   |  |

## 4.3. Mesures de suivi environnemental

Afin de vérifier les effets du projet sur les différents compartiments du milieu physique et du milieu naturel durant toutes les phases de vie du parc éolien, de compléter et d'améliorer les connaissances du milieu marin, le pétitionnaire prévoit de mettre en œuvre plusieurs suivis environnementaux. Ces mesures de suivi sont dimensionnées de manière proportionnée aux enjeux environnementaux identifiés pour le projet.

Les modalités concernant le suivi environnemental à mettre en œuvre sont celles visées à l'arrêté du 17 mars 2016 n°2016/BPUP/036, le cas échéant actualisé, portant autorisation, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, au bénéfice de la société Parc du Banc de Guérande (PBG).

Ces modalités seront encadrées par un Comité Technique Environnemental visé à l'arrêté du 17 mars 2016 n°2016/BPUP/036.

| Mesure  | Phase   | Thématique concernée   |
|---|---|--|
| MSU1 : Suivi de la qualité des masses d'eau                     | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Qualité de l'eau   |
| MSU 2 : Suivi des communautés benthiques                        | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Peuplement et habitats benthiques  |
| MSU 3 : Campagne de pêche scientifique aux grands crustacés     | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Espèces benthiques d'intérêt halieutique : grands crustacés  |
| MSU 4 : Programme scientifique sur le homard européen           | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Espèces benthiques d'intérêt halieutique : Homard européen, suivi sur le site et sur son aire de répartition |
| MSU 5 : suivi des ressources halieutiques et autres poissons    | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Espèce de la colonne d'eau   |
| MSU 6 : Suivi des peuplements larvaires                         | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Espèce de la colonne d'eau   |
| MSU 7 : Protocole de surveillance lors des phases de battage    | Travaux   | Mammifères marins  |
| MSU 8 : Suivi des mammifères marins par acoustique passive      | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Mammifères marins : bruit sous marin   |
| MSU 9 : Suivis visuels opportunistes des navires de maintenance | Exploitation  | Mammifères marins  |
| MSU 10 : Suivi de l'avifaune                                    | Préalable aux travaux<br>Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement | Avifaune   |
| MSU 11 : Suivi de l'activité des Chiroptères                    | Travaux<br>Exploitation<br>Démantèlement                          | Chiroptères  |

## 5. Nature des opérations nécessaires à 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

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* ».

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

- Le retrait de tous les composants du parc visant à une remise en état du site ;
- 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.

Ainsi, 24 mois avant la fin de l'exploitation, une étude portant sur l'optimisation des conditions du démantèlement et de la remise en état du site sera menée, en tenant compte des enjeux liés à l'environnement, aux activités, et à la sécurité maritime.

## 6. Les modalités de balisage

### 6.1. Balisage aérien

Chaque éolienne du parc doit être signalée par un balisage aérien, conformément à la réglementation, comprenant :

- de jour : des feux d'obstacle moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;
- de nuit : des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;
- de jour et de nuit : des feux d'obstacles basse intensité de type B (rouges fixes 32 cd) positionnés sur le mât à 45m au-dessus du niveau moyen de la mer, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Les éclats des feux de toutes les éoliennes doivent être synchronisés, de jour comme de nuit. L'alimentation électrique desservant le balisage lumineux doit être secourue par l'intermédiaire d'un dispositif automatique et doit commuter dans un temps n'excédant pas 15 secondes.

Enfin, la réglementation prévoit que les éoliennes soient de couleur blanche, appliquée uniformément sur l'ensemble des éléments constituant l'éolienne. La référence de blanc prévue est le RAL 7035 ou équivalent.

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'effet de la source lumineuse sur l'environnement, est ainsi mis en place en coopération avec les services de l'État 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.

En conséquence, les éoliennes et le poste électrique seront signalés par des balisages conformes aux réglementations de l'aviation civile et de la navigation maritime en vigueur.

### 6.2. Balisage maritime

Deux recommandations de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM) sont applicables au balisage des parcs éoliens :

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

Ces recommandations définissent notamment les dimensions, formes, couleur du balisage et caractère des signaux lumineux ou électromagnétiques à mettre en place. Les dispositifs de signalisation sont ensuite portés sur les documents nautiques et signalés par les moyens réglementaires de diffusion de l'information nautique.

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

- 11 éoliennes seront signalées par un balisage maritime SPS (Structure Périphérique Significative) constitué de feux jaunes rythmés synchronisés d'une portée d'au moins 5 milles nautiques, visibles de toutes les directions;
- 6 éoliennes seront signalées par un balisage maritime intermédiaire constitué de feux jaunes rythmés d'une portée d'au moins 2 milles nautiques, non synchronisés avec ceux des SPS.

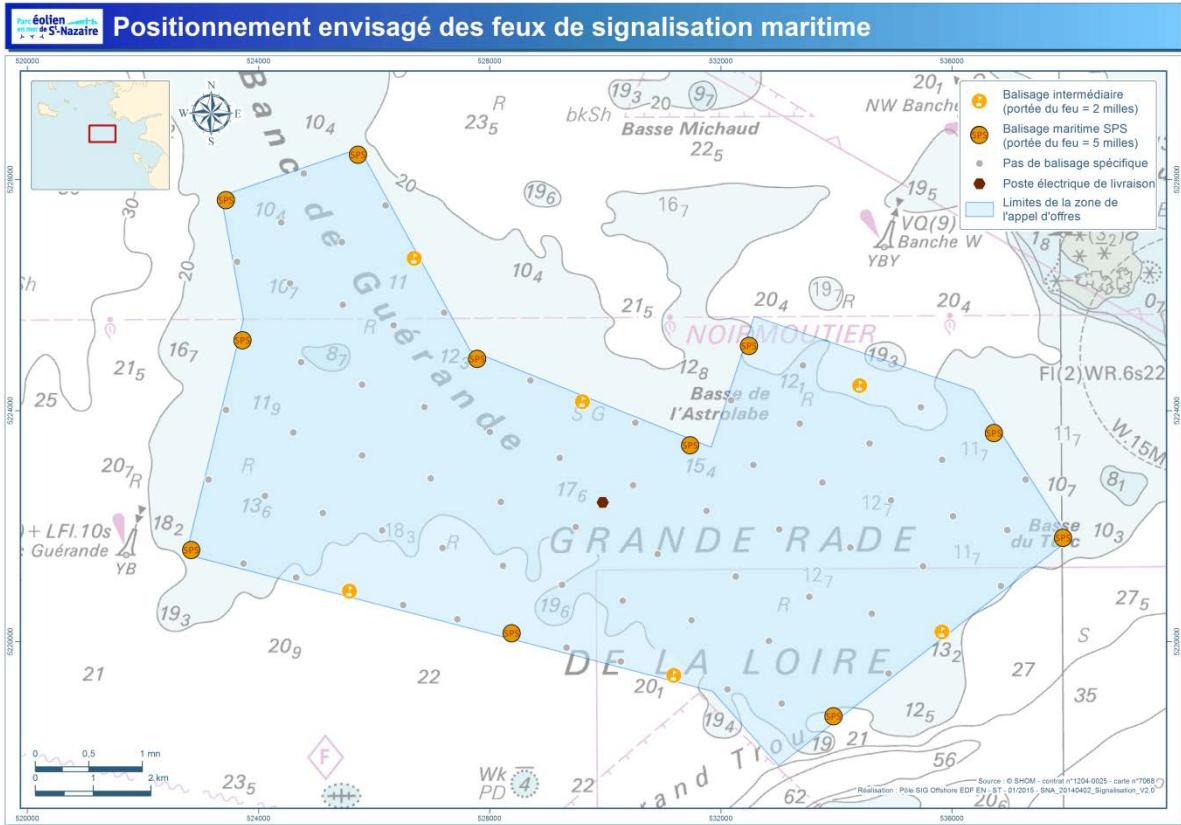


Figure 8 : Feux de balisage maritime (source EMF)

De plus, les fondations seront peintes en jaune (RAL 1003 ou équivalent), 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.

|              | Nom du feu             | Caractéristiques | Période      | Portée nominale | Azimut  | Localisation sur l'éolienne | Hauteur par rapport au LAT |
|--------------|------------------------|------------------|--------------|-----------------|---------|-----------------------------|----------------------------|
| 11 éoliennes | SPS                    | Feu jaune        | Jour et nuit | 5 milles        | Horizon | Fondation                   | 30 m                       |
| 6 éoliennes  | Balisage intermédiaire | Feu jaune        | Jour et nuit | 2 milles        | Horizon | Fondation                   | 30 m                       |

Tableau 5 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF).

## 7. Les mesures de sécurité maritime

Le pétitionnaire mettra en œuvre les mesures de sécurité maritime présentées dans l'étude d'impact environnemental.

|      | Mesure   | Type de mesure         | Objectif   |
|------|--|------------------------|--|
| MR12 | Formation : pêche dans un parc éolien en mer   | Mesure de réduction    | Former les marins aux contraintes liées à la navigation et à la pratique de la pêche dans le parc éolien de Saint-Nazaire, selon les règles d'usages déterminées par le préfet maritime. Former les marins sur la gestion des situations d'urgence maritime. |
| MR13 | Equipement matériel de navigation/sécurité   | Mesure de réduction    | Equiper les navires souhaitant pêcher dans le parc éolien de dispositifs servant à favoriser la navigation et la sécurité dans le parc.  |
| MR14 | Remplacement ou récupération du matériel de pêche perdu dans le parc éolien  | Mesure de réduction    | Réduire les risques liés à la récupération du matériel de pêche perdu par les professionnels en activité au sein du parc éolien.   |
| MR15 | Installation d'une bouée témoin à proximité du parc éolien   | Mesure de réduction    | Limiter les effets des éoliennes sur les radars embarqués des navires naviguant au voisinage du parc éolien.   |
| MR16 | Formation du personnel opérateur   | Mesure de réduction    | Formation du personnel impliqué dans la surveillance maritime de la zone : sémaphores, CROSS Etel, GPMNSN, etc.  |
| MR17 | Ajout de moyens optroniques de surveillance, d'équipement de signalisation et d'aide à la navigation électroniques | Mesure de réduction    | Assurer la sécurité de la navigation maritime à l'intérieur et aux abords du parc.   |
| MC1  | Installation de 2 radars supplémentaires et intégration à SPATIONAV  | Mesure de compensation | Réduire les perturbations dues aux éoliennes sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre et assurer la surveillance des activités maritimes dans le parc éolien et à son voisinage.  |

## 8. Les modalités de diffusion des avis aux navigateurs

Les modalités de diffusion des avis aux navigateurs concernant les différentes phases de travaux de mise en place des installations du projet, ainsi que la phase ultérieure d'exploitation du parc, seront conformes à l'usage :

- Fourniture d'éléments techniques aux services de l'État qui établiront les AVURNAV ;
- Reprise des mêmes éléments d'informations dans des communiqués de presse publiés dans des journaux locaux, une semaine avant le début effectif des phases de travaux concernées ;
- Mise en place d'un site internet mettant à disposition des usagers de la mer toutes les informations importantes sur l'avancement du chantier relatif au parc éolien : planning, calendrier des interventions actualisé autant que de besoin, zones réglementées, positions des obstacles, etc.
- Information systématique du SHOM qui veillera à publier les avis qui conviennent pour la correction des cartes et ouvrages (par exemple, mention sur les cartes marines, dès l'arrêté d'autorisation des travaux, du périmètre complet du parc éolien).

## 9. Table des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone de concession .....   | 5  |
| Tableau 2 : Surface au sol impactée par les différentes structures du parc éolien .....  | 8  |
| Tableau 3 : Surface au sol impactée par les ateliers de chantier du parc éolien .....  | 8  |
| Tableau 4 : Coordonnées géographiques WGS84 de l'ensemble des éoliennes (référencées selon la carte 2) et du poste électrique en mer (OSS) ..... | 11 |
| Tableau 5 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF) .....  | 29 |

## 10. Table des cartes

|  |    |
|--|----|
| Carte 1 : Localisation de la zone de concession au large de Saint Nazaire .....  | 6  |
| Carte 2 : Implantation des éoliennes, des câbles inter éoliennes, et du poste électrique en mer prévus pour le parc éolien de Saint Nazaire (source EMF) ..... | 9  |
| Carte 3 : Implantation prévue des éoliennes du projet de Saint Nazaire (source EMF) .....  | 13 |
| Carte 4 : Implantation prévue des éoliennes, de la sous-station et des câbles inter-éoliennes (source EMF) .....   | 16 |

## 11. Table des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Schéma de principe d'une fondation monopieu (ci-dessous) et d'une éolienne Haliade (ci-contre) ..... | 15 |
| Figure 2 : Poste électrique en mer du parc éolien de Walney (DONG Energy) .....                                 | 16 |
| Figure 3 : Descente du monopieu dans son guide (source DONG Energy) .....                                       | 17 |
| Figure 4 : Mise à l'eau de la pièce de transition (source DONG Energy) .....                                    | 18 |
| Figure 5 : Navire d'installation après montage d'un aérogénérateur (source A2SEA) .....                         | 18 |
| Figure 6 : Barge équipée d'un carrousel (source DONG Energy) .....  | 19 |
| Figure 7 : Installation d'une sous-station (source DONG Energy) .....   | 21 |
| Figure 8 : Feux de balisage maritime (source EMF) .....   | 29 |