



**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**

Juillet 2015

• Sommaire

AVANT-PROPOS.....	4
1. SITUATION ET SUPERFICIE DE L'EMPRISE OCCUPÉE	5
1.1. SITUATION ET SUPERFICIE DE L'EMPRISE QUI FAIT L'OBJET DE LA DEMANDE	5
1.2. SUPERFICIE DÉTAILLÉE DE L'INSTALLATION DU PARC ÉOLIEN AU SEIN DE LA ZONE DE CONCESSION.....	7
1.3. PLAN DU SITE D'IMPLANTATION	9
2. DESTINATION, NATURE ET COÛT DES TRAVAUX PROJÉTÉS	12
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. COÛT 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
3. CALENDRIER DE RÉALISATION DES TRAVAUX ET DATE PRÉVUE DE MISE EN SERVICE	23
3.1. DE 2016 À 2020 : CONSTRUCTION DU PARC ÉOLIEN EN MER AU LARGE DE SAINT NAZAIRE	23
3.2. DE 2018 À 2020 : DÉMARRAGE PROGRESSIF DE L'EXPLOITATION	23
4. MODALITÉS DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU PROJET	24
4.1. CONTEXTE	24
4.2. MESURES DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL.....	24
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.....	28
6. LES MODALITÉS DE BALISAGE DU CHANTIER DE MISE EN PLACE DES INSTALLATIONS	29
6.1. BALISAGE AÉRIEN	29
6.2. BALISAGE MARITIME	29
6.3. COUPLAGE DES SIGNALISATIONS LUMINEUSES AÉRIENNES & MARITIMES	31
7. LES MODALITÉS DE DIFFUSION DES AVIS AUX NAVIGATEURS.....	33
8. TABLE DES TABLEAUX	34
9. TABLE DES CARTES.....	34
10. TABLE DES FIGURES	34

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

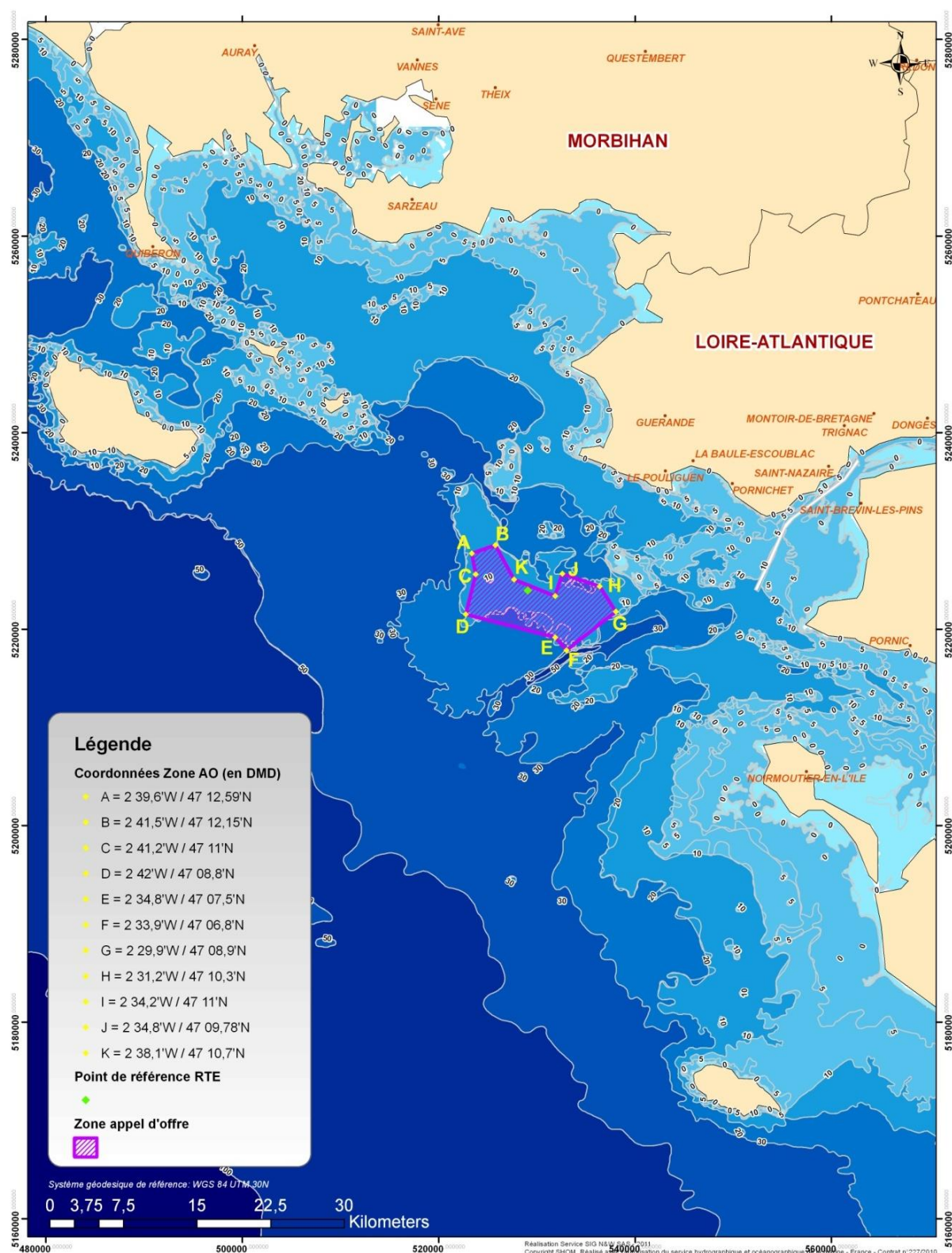
La zone de concession se situe au large de Saint Nazaire en Loire-Atlantique, dans les eaux territoriales françaises à plus de 12km de la pointe du Croisic et de la pointe de Penchâteau, au large de l'embouchure de la Loire. Le banc de Guérande, zone rocheuse de hauts fonds située au sud-ouest de la 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 km² 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 5 éoliennes situées au nord-ouest de la zone d'implantation),
- 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 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 ci-après.

	Type de construction ou outils		Superficie impactée par unité (m ²)	Surface totale impactée (m ²)	Surface totale impactée (km ²)
Eoliennes (80 unités)	Fondations	Fondation de 7m de diamètre	38	3 077	0,0031
Câblage (au sol, 120 km au total)	Enrochement ou coquille	Si enrochement à 100 %	1400 m ² pour 100 m linéaire	1 680 000	1,68
		Si coquille à 100%	100 m ² pour 100 m linéaire	120 000	0,12
Poste électrique en mer	Fondation <i>Jacket</i>	Pieux de la fondation (4 unités)	≈30	≈120	0,00012
Total				entre 123 197 et 1 683 197 m²	Entre 0,12 et 1,68 km²

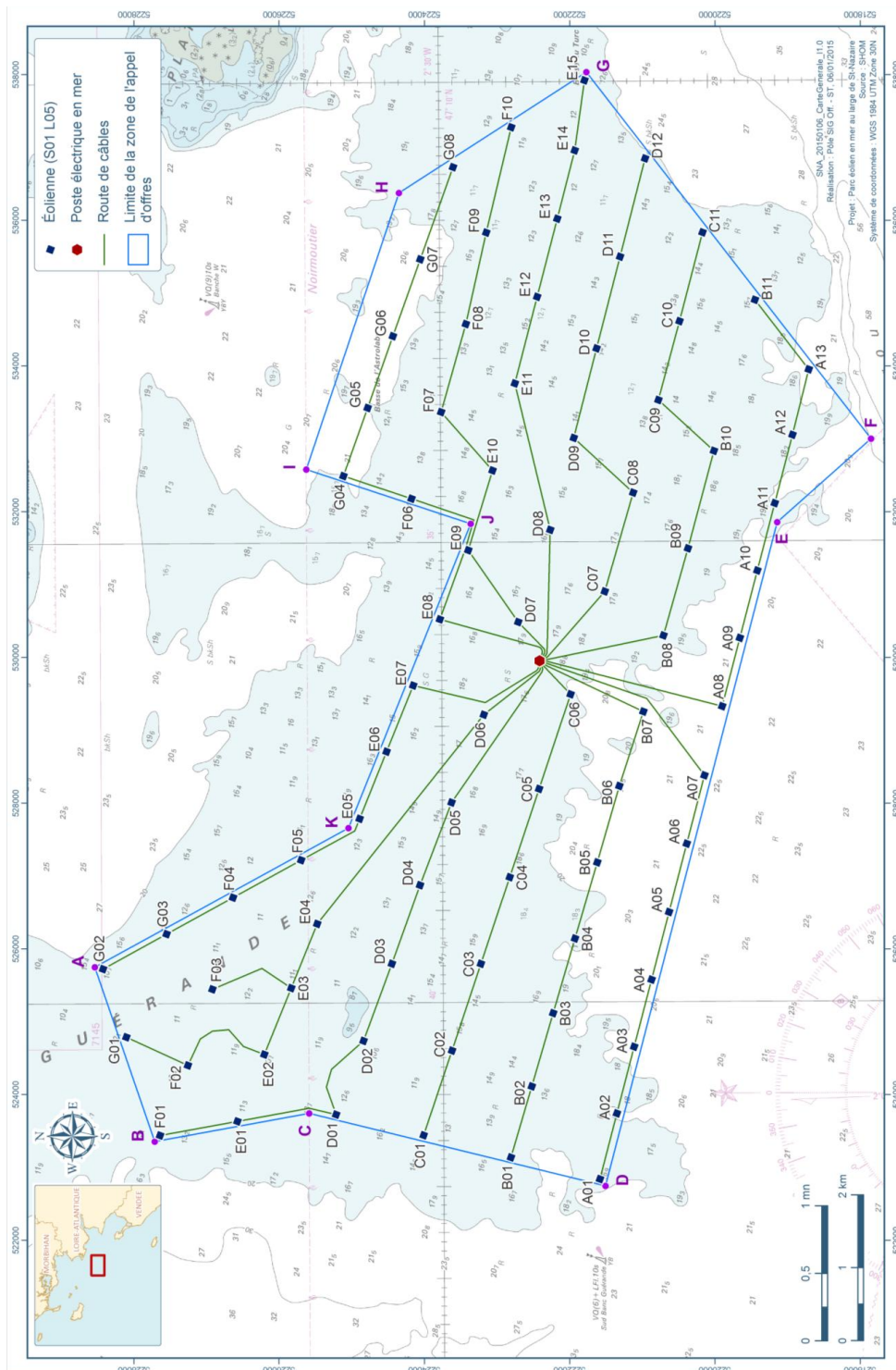
Tableau 2 : Surface au sol impactée par les différentes structures du parc éolien

Composant	Sous-composant et hypothèses		Nombre d'unités	Superficie impactée par unité (m ²)	Surface totale impactée (m ²)	Surface totale impactée (km ²)
Eoliennes	Fondations de type monopieux	Fondation de 7m de diamètre	80 fondations	38	3077	0,003
	Atelier d'installation des éoliennes	Barges Jack up (110 m ² par pied)	80 positions de jack-up	660	52 800	0,05
Câblage	Câbles, coquille ou enrochement	Si enrochement à 100 %	120km au total au sol	1400 m ² pour 100 m linéaire	1 680 000	1,68
		Si coquille à 100%	120km au total au sol	100 m ² pour 100 m linéaire	120 000	0,12
Poste électrique en mer	Fondation <i>Jacket</i>	Pieux de la fondation (4 unités)	4 pieux	30	120	0,00012
		Barges Jack up pour le poste électrique et les pieux du jack-up (110 m ² par pied)	6 pieds	110	660	0,0006
Total					Entre 176 657 et 1 736 657 m²	Entre 0,17 et 1,7 km²

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 km². Cela représente entre 0,21 et 2,1% de la surface totale de la zone de concession (78 km²).

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 4) et du poste électrique en mer (OSS)

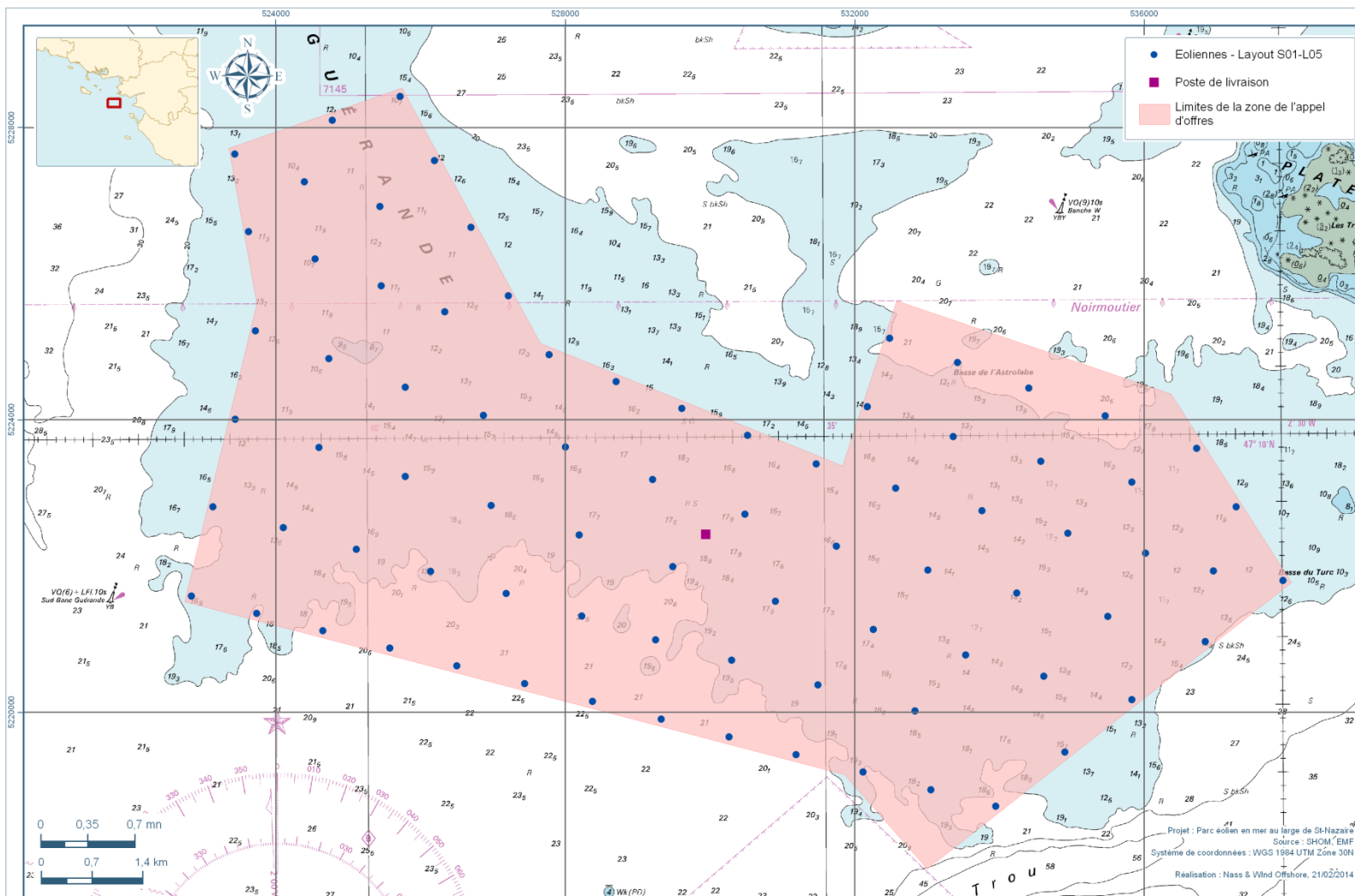
Ces cartes et coordonnées sont fournies à titre indicatif : la localisation précise des éoliennes et des câbles au sein de la zone de concession est susceptible d'être adaptée en fonction des contraintes géologiques qui pourraient être identifiées lors des futurs travaux de reconnaissance (géophysiques, géotechniques) prévus en 2015.

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 de 7m de large 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 5 éoliennes situées au nord-ouest de la zone d'implantation afin d'assurer une protection anti-affouillement. Les dimensions et caractéristiques des fondations sont présentées dans la Figure 1 ci-dessous.

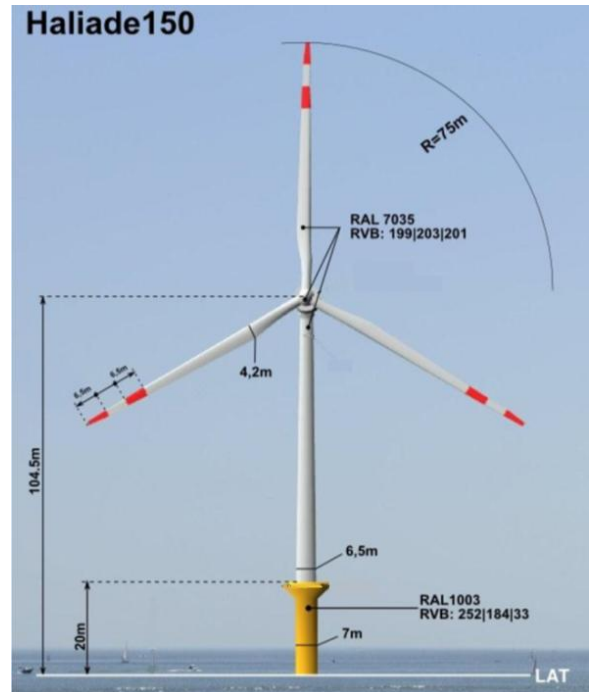
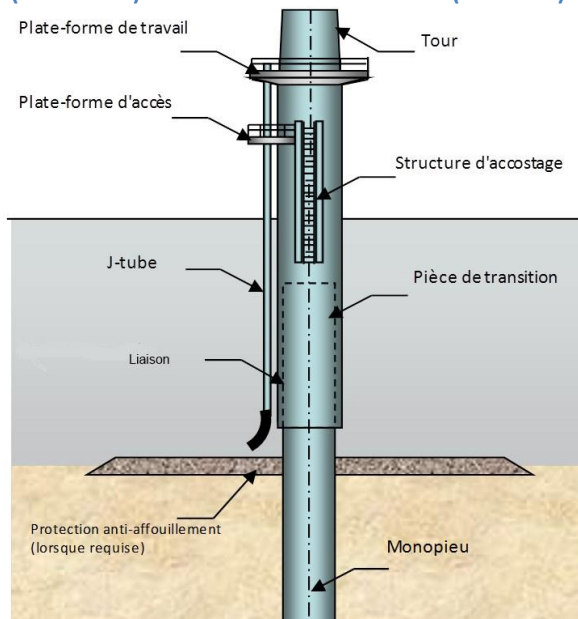
2.2.2. Eoliennes

L'éolienne retenue pour ce projet est l'Haliade 150 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

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).

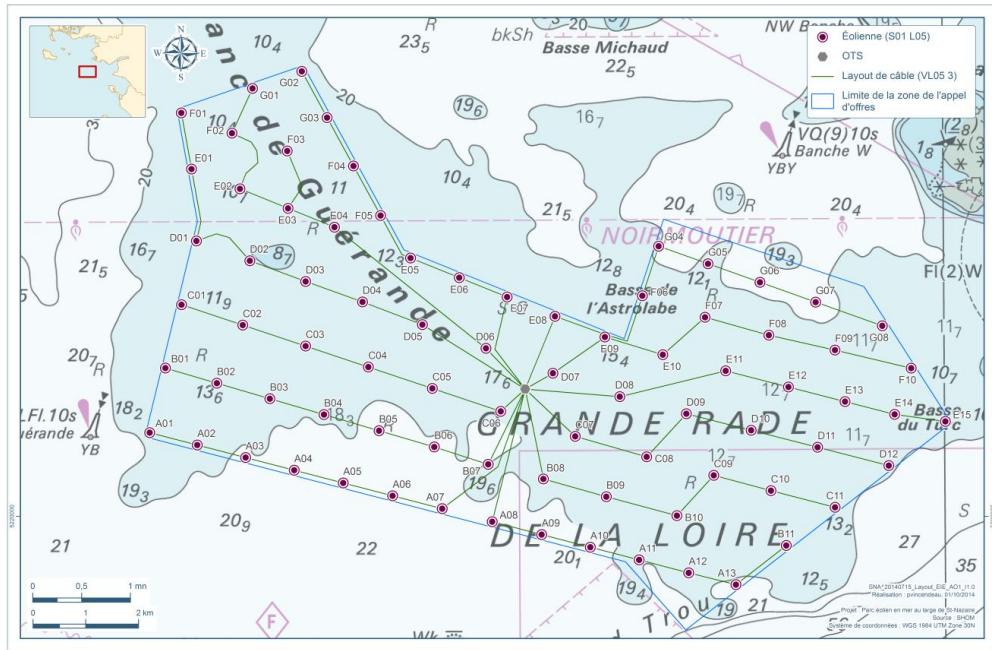
Figure 1 : Schéma de principe d'une fondation monopieu (ci-dessous) et d'une éolienne Haliade1 (ci-contre)



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 120km.

¹ Les longueurs indiquées sont des ordres de grandeur donnés à titre indicatif.



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

2.2.4. Poste électrique en mer

1. 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 22) 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.



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. L'ensemble composé d'une pale montée sur le sous-ensemble rotor-nacelle est assemblé au mât. Enfin les deux dernières 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-éoliens 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. En effet, les outils de tranchage et d'ensouillage ne peuvent être déployés trop près des fondations. 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.

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 jacket² 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 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 pieux d'ancrage de 2,5 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.

² 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 entre 2018 et 2020, 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.

Une fois la concession obtenue, il est estimé qu'une période de 5 années sera nécessaire afin de réaliser les dernières études techniques et l'intégralité des travaux. Le maître d'ouvrage prévoit une durée d'exploitation du parc éolien au large de Saint Nazaire d'environ de 25 ans.

3.1. De 2016 à 2020 : 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. Le cahier des charges prévoit la mise en service du parc éolien par tranches successives : au plus tard 20 % de la puissance totale en 2018, 50 % en 2019 et la totalité en 2020.

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

3.2. De 2018 à 2020 : démarrage progressif de l'exploitation

L'exploitation du parc devrait démarrer progressivement à partir de 2018, pour une mise en service complète en 2020 (jusqu'à 3 tranches seront mises en service successivement). La durée d'exploitation envisagée pour le parc éolien en mer est de 25 ans. À l'issue de la période d'exploitation le parc éolien en mer sera démantelé et le site remis en état.

4. Modalités 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 de suivi environnemental

Afin de suivre 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.

Un récapitulatif des mesures de suivis envisagées dans le cadre du suivi environnemental du projet éolien en mer est présenté ci-après :

Thématique	Numéro	Objectif	Nature du suivi	Périodicité	2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046																											
					Construction		Exploitation																							Démantèlement		
					Prépa terre	Travaux mer																								1	2	
Qualité de l'eau	MSU 1	Suivre la qualité des masses d'eau.	Suivi à l'aide d'une sonde multiparamètres des caractéristiques physico-chimiques de l'eau	A minima en parallèle des sorties benthos		X		X	X	X																			X	X	~	
			Mesure de la qualité des eaux par un animal filtreur pour suivre le transfert d'aluminium (biodisponible) des anodes vers le milieu marin.	Période d'immersion de 2,5 à 4 mois		X		X	~																							
Peuplements et habitats benthiques	MSU 2	Suivre les communautés benthiques (variabilité interannuelle, effets des travaux, et résilience du milieu)	Des plongées seront réalisées sur la base d'un plan d'échantillonnage proposé, comprenant à titre indicatif 7 stations (4 stations sur le site et 3 stations de référence hors site)	Campagne réalisée entre la fin du printemps et le début d'été		X		X	X	X																				X	X	~
Espèces benthiques d'intérêt halieutique	MSU 3	Campagnes de pêche scientifiques aux grands crustacés	Prélèvements exclusifs avec la méthode casier. Elle permet d'obtenir de l'information sur les crustacés, d'apprécier l'effort de pêche et les variations spatiales; Ce programme reposera sur du marquage d'individus.	Le rythme des campagnes sera de 2 ou 3 jours réparti sur la saison (printemps, été, automne).		X		X	X	~																				X	X	~
	MSU 4	Programme scientifique sur le homard européen	De plus au cas où la résilience serait faible, et en concertation avec les professionnels, des opérations de repeuplement seront envisagées.	A définir avec les experts		X		X	X	X																						
Espèces de la colonne d'eau	MSU 5	Suivi des ressources halieutiques et autres espèces	Le plan et des techniques d'échantillonnage seront une reproduction de celui et celles déjà appliqué. Ainsi, le matériel de prélèvement sera identique et la position des stations d'échantillonnage sera établie dans les mêmes secteurs.	Le rythme des campagnes sera de 2 ou 3 jours réparti sur la saison (printemps, été, automne).		X		X	X	~																				X	X	~

Mammifères marins et acoustique sous-marine	MSU 6	Suivi des espèces marines au stade larvaire	Les prélèvements se feront aux filets bongo en réalisant deux traits sur chacune des stations; Une identification et un dénombrement des larves de poissons, de crustacés, d'échinodermes et de mollusques sera ensuite réalisé.	Une campagne par mois lors de petits coefficients de marée	X	X	X	~																															X	X	~	
	MSU 7	Protocole de surveillance lors des phases de battage	Elle se compose d'un réseau de bouées équipées d'hydrophones hautes fréquences d'enregistrement des signaux de mammifères marins.	La mesure est à réaliser à chaque fois que l'atelier de battage a été suspendu pendant une durée supérieure à 2h30 (correspond au temps pour un marsouin de passer de la limite de la zone de modification de comportement à la zone de lésion permanente à une vitesse constante de 20km/h).			X	X																																		
	MSU 8	Suivi des mammifères marins par acoustique passive	Déploiement d'instruments acoustiques sur le site d'implantation des éoliennes (hydrophones large bande et de détecteurs automatique type C-POD)	Enregistrement continu sur l'année.		X	X	X	X	X																														X	X	~
	MSU 9	Formation spécifique du personnel navigant à la reconnaissance des mammifères marins du secteur et au relevé des données associées.	Suivi visuel opportuniste des navires de maintenance : formation du personnel navigant	Chaque opération de maintenance				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			~
Avifaune	MSU 10	Suivi de l'avifaune	L'observation permettra de suivre la fréquentation du site et son évolution. Les densités de distribution des populations d'oiseaux seront analysées ainsi que les comportements spécifiques des espèces.	Les missions de suivi de la fréquentation « avifaune » du parc (pour chaque année d'évaluation) se basent sur : - 6 campagnes de 4 jours mutualisant grands et petits transects par bateau - alternant avec des phases d'observations bimensuelles sur le site d'implantation (petits transects par bateau 2 fois par mois).		X	X	X	X	X																												X	X	~		
			Le bagage et l'appareillage (balise GPS, VHF) dédiée aux Goélands Marins (caractéristique démographiques et rayon d'action alimentaire, pose de GPS);	A définir avec les experts	X	X	X	X	X	X	X																															

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 du chantier de mise en place des installations

6.1. Balisage aérien

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

La législation indique également que le balisage aérien doit être soumis au directeur général de l'Aviation civile et au directeur de la circulation aérienne militaire pour validation. Chaque éolienne du parc devra être signalée par un balisage aérien 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°) ;
- Jour et 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 hauteurs de fixation des feux sont exprimées par rapport au niveau des plus basses marées astronomiques (LAT : Lowest Astronomical Tide).

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

Tableau 6 : Caractéristiques des feux de balisage aérien (source EMF).

Le passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit sera réalisé automatiquement dès que la luminosité sera inférieure à 50 cd/m². En cas de défaillance, l'alimentation électrique desservant le balisage lumineux sera remplacée automatiquement dans un délai de 15 secondes par un système de secours autonome. De plus, le balisage sera télé-surveillé et 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.

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.

Au-delà des normes internationales, des dispositions particulières peuvent être proposées pour améliorer la visibilité et la signalisation (éclairage, marquage radar actif ou passif, signaux sonores...). Au niveau national, le plan de signalisation maritime est soumis à l'avis de la Grande Commission Nautique. Les dispositifs correspondants 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 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.

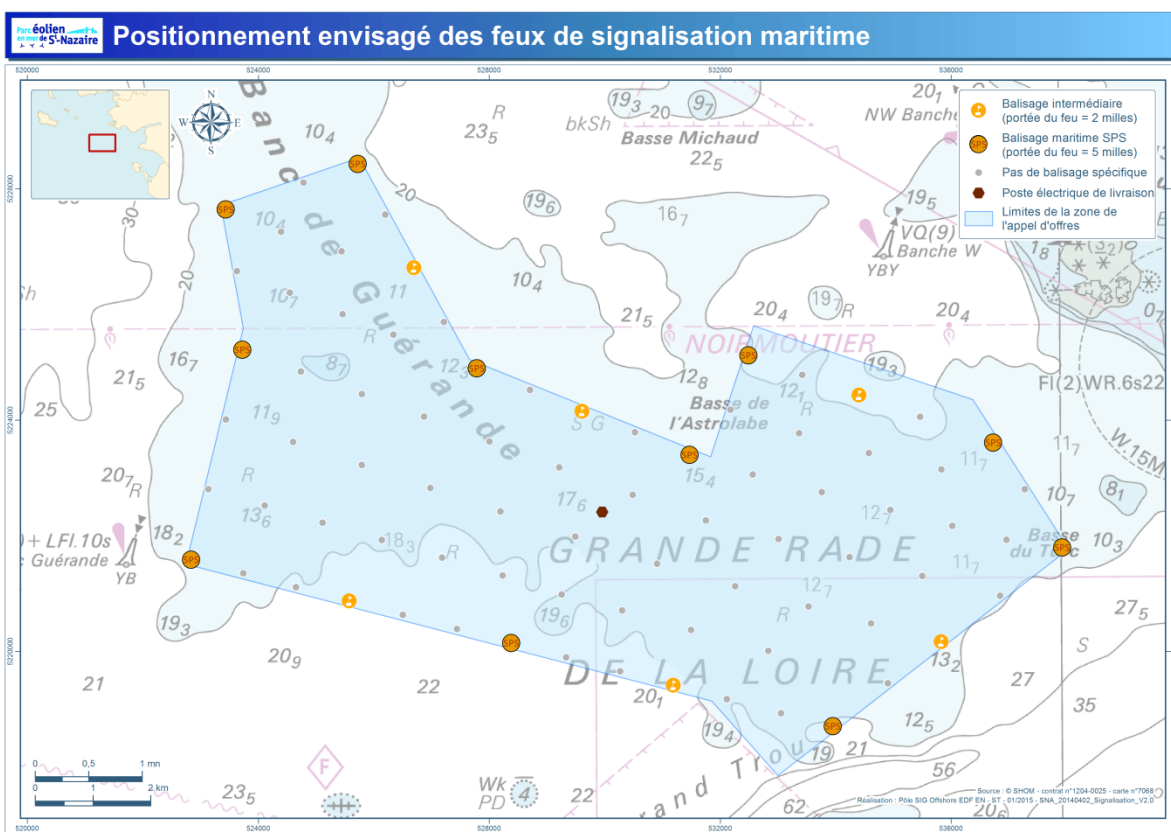


Figure 8 : Feux de signalisation maritime (source EMF)

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.

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

Tableau 7 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF).

Les équipements suivants seront ajoutés, conformément aux recommandations de l'AIMS et plus particulièrement de la Grande Commission Nautique. Afin d'assurer la sécurité de la navigation à l'intérieur et aux abords du parc éolien, le maître d'ouvrage a proposé de mettre en place les mesures suivantes :

- l'éclairage de chaque structure, ou l'installation de dispositifs rétro-réfléchissants ;
- des feux additionnels jaunes rythmés ;
- des transpondeurs radars RACON;
- des réflecteurs radars actifs ou passifs ;
- des numéros d'identification lisibles de nuit sur chaque éolienne ;
- des signaux sonores audibles à 2 milles nautiques activés en cas de mauvaise visibilité ;
- des dispositifs AIS.

Il convient de noter que la Grande Commission Nautique, qui s'est réunie le 5 mai 2015 afin d'émettre un avis sur le projet de parc éolien en mer de Saint Nazaire, a validé le plan de balisage maritime proposé par le maître d'ouvrage et a recommandé, notamment, de ne pas équiper le parc de transpondeurs radars RACON et de signalisation sonore (cornes de brume). Le plan de balisage maritime sera arrêté par le préfet maritime.

6.3. Couplage des signalisations lumineuses aériennes & maritimes

Les éclats des feux de toutes les éoliennes seront synchronisés, de jour comme de nuit, à l'exception des feux de balisages maritimes intermédiaires qui doivent avoir une synchronisation différente des feux de balisages maritimes SPS, d'après la recommandation E-110 sur les caractères rythmiques des feux d'aide à la navigation. Les feux utilisés sont des feux de moyenne intensité types A et B (FMI type A, FMI type B) et des feux de basse intensité de type B (FBI type B).

		Temps (s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Type de feu	Périodicité																													
FMI type A	jour		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	
Feu de moyenne intensité (MI) de type B	nuit			■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■
Feu de basse intensité (BI) de type B	jour et nuit		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Balisage type SPS	jour et nuit		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	
Balisage intermédiaire	jour et nuit		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	

Tableau 8 : Proposition de rythmes des feux de signalisation (source EMF).

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
Dossier de précisions techniques, Annexe à la convention d'autorisation d'occupation du domaine public maritime 31

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.

7. 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)

8. 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 4) et du poste électrique en mer (OSS)	11
Tableau 5 : mesures de suivis envisagées dans le cadre du suivi environnemental du projet éolien en mer (source EMF).	27
Tableau 6 : Caractéristiques des feux de balisage aérien (source EMF).	29
Tableau 7 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF).	31
Tableau 8 : Proposition de rythmes des feux de signalisation (source EMF).	31

9. 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 des éoliennes, de la sous-station et des câbles inter-éoliennes (source EMF).	16

10. 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 signalisation maritime (source EMF)	30