

Etude d'impact

Fascicule A

PRESENTATION DU PROGRAMME

Janvier 2015



SOMMAIRE GENERAL

1	CONTEXTE ENERGETIQUE.....	1
1.1	Les grands défis énergétiques	3
1.2	Evolution de la demande d'électricité en France.....	5
1.3	Evolution de la production d'électricité en France	6
1.4	La politique de Développement des énergies renouvelables en France	9
1.5	L'éolien en mer, nouvelle filière industrielle	12
2	CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	13
2.1	Cadre juridique du parc éolien	15
2.2	Cadre juridique du raccordement électrique	16
2.3	Cadre juridique du programme	18
3	ARTICULATION DE L'ETUDE D'IMPACT.....	19
4	DESCRIPTION DU PROGRAMME	23
4.1	Maîtres d'ouvrage du programme.....	25
4.2	Présentation du programme	28
4.3	Composants du programme.....	37
4.4	Modalités d'installation	55
4.5	Modalités d'exploitation et de maintenance	84
4.6	Conditions de démantèlement envisagées	94
4.7	Calendrier prévisionnel.....	104
5	NOMS & QUALITÉ DES AUTEURS	107
5.1	Résumé non technique, Fascicules A & C.....	109
5.2	Fascicule B1 : Parc éolien	109
5.3	Fascicule B2 : Raccordement	110

LISTE DES ACRONYMES

AIE	Agence internationale de l'énergie	m/s	mètre par seconde
AIISM	Association internationale de signalisation maritime	m ²	mètre carré
cd	Candela	m ³	mètre cube
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable	mm	millimètre
CGPPP	Code général de la propriété des personnes publiques	MVA	Mega volt ampère
CM	Cote Marine	MW	Mégawatt
cm	Centimètre	MWh	Megawatt.heure
CO ₂	Dioxyde de carbone	OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
DPM	Domaine public maritime	OMI	Organisation maritime internationale
DUP	Déclaration d'utilité publique	PBG	Parc du Banc de Guérande (société)
EDF EN	Electricité de France - Energies Nouvelles (société)	PEHD	Polyéthylène haute densité
EMF	Eolien Maritime France (société)	PNA	Ports normands associés
EWEA	European wind energy association	PPI	Programmation pluriannuelle des investissements
GES	Gaz à effet de serre	PVC	Polychlorure de vinyle
Ha	Hectare	R&D	Recherche & développement
HSE	Hygiène, sécurité & environnement	RD	Route départementale
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques	RN	Route nationale
IOTA	Installations, ouvrages, travaux et activités	ROV	Remotely Operated Vehicle (véhicule sous-marin téléguidé)
kJ	kilo joule	RTE	Réseau de transport d'électricité (société)
km	kilomètre	SA	Société anonyme
km ²	kilomètre carré	SPS	Structure périphérique significative
kV	kilo volts	TCAM	Taux de croissance moyen annuel
LAT	Lowest astronomical Tide (marée basse astronomique)	TWh	Terawatt.heure
		XLPE	Polyéthylène réticulé

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Déclinaison de l'objectif des 23% pour le secteur des énergies renouvelables (source PPI 2009)	9
Tableau 2 : Table de correspondance – contenu de l'étude d'impact	21
Tableau 3 : Dimensionnement de la superstructure de la sous-station (source DONG Energy)	39
Tableau 4 : Récapitulatif des volumes de liquides (source EMF).....	41
Tableau 5 : Caractéristiques générales des fondations (source EMF).....	43
Tableau 6 : Caractéristiques de la fondation implantée -22m CM (source Parc du Banc de Guérande).....	44
Tableau 7 : Principales caractéristiques de l'éolienne (source Alstom).....	46
Tableau 8 : Navires nécessaires pour l'installation de la sous-station (source DONG Energy).....	55
Tableau 9 : Navires et description de l'installation des fondations (source DONG Energy).....	59
Tableau 10 : Navires et description de l'installation des câbles inter-éoliens (source DONG Energy).....	64
Tableau 11 : Caractéristiques des feux de balisage aérien (source EMF).....	85
Tableau 12 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF).....	86
Tableau 13 : Rythmes des feux de signalisation (source EMF).....	87
Tableau 14 : Synthèse des principaux textes réglementaires pour le démantèlement.....	94
Tableau 15 : Synthèse des filières de recyclage (source Artelia).....	103
Tableau 16 : Calendrier prévisionnel du programme (source Natural Power d'après EMF et RTE).....	105

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Historique de la consommation d'électricité corrigée (source RTE Bilan prévisionnel de l'équilibre offre/demande, 2014).....	5
Figure 2 : Evolution du poids des principaux secteurs dans la consommation d'électricité (source RTE, 2014).....	6
Figure 3 : Production d'électricité en France (source SOeS, bilan de l'énergie, 2011).....	7
Figure 4 : Nombre d'heures équivalent pleine puissance des centrales charbon et cycles combinés gaz (source RTE – Bilan Electrique, 2013).....	8
Figure 5 : Mix de production d'électricité en France en 2013 (source RTE – Bilan Electrique, 2013).....	8
Figure 6 : Zones proposées lors du premier appel d'offres pour l'implantation de parcs éoliens en mer.....	11
Figure 7 : Localisation du projet de parc éolien par rapport au réseau électrique terrestre (source RTE).....	30
Figure 8 : Tracé général maritime du raccordement (source RTE).....	32
Figure 9 : Localisation de la zone d'atterrage sur la plage de la Courance (source RTE).....	33
Figure 10 : Tracé général terrestre du raccordement et emplacement du poste d'atterrage (source RTE).....	34
Figure 11 : Prairies La Menée Lambourg (cliché TBM).....	35
Figure 12 : Canal de La Taillée (cliché TBM).....	35
Figure 13 : Emplacement du poste (source RTE).....	36
Figure 14 : Composantes générales d'un parc éolien marin (source EMF).....	37

Figure 15 : Schéma de principe du raccordement (source RTE).....	38
Figure 16 : Sous-station du parc éolien de Walney (source DONG Energy).....	38
Figure 17 : Principaux types de fondation (source EMF).....	41
Figure 18 : Monopieux et pièces de transition (Source DONG Energy).....	42
Figure 19 : Localisation des éoliennes avec protections anti-affouillements (source EMF).....	43
Figure 20 : Exemple d'une pièce de transition – Walney (source DONG Energy).....	45
Figure 21 : Haliade 6MW en mer du Nord (source Alstom).....	46
Figure 22 : Vues de profil et de dessus de la nacelle de l'Haliade 150 (source Alstom).....	47
Figure 23 : Pales de l'éolienne Haliade 150 avant installation (source Alstom).....	47
Figure 24 : Concept "Pure Torque" (source Alstom).....	48
Figure 25 : Système de contrôle de l'orientation des pales de l'Haliade 6 MW (source Alstom).....	49
Figure 26 : Description générale d'un câble (source Draka).....	50
Figure 27 : Exemple d'un câble tripolaire sous-marin.....	50
Figure 28 : Exemple de structure d'un câble unipolaire souterrain.....	51
Figure 29 : Projet de poste de raccordement 225 000 volts.....	52
Figure 30 : Exemple de pylône aérosouterrain.....	53
Figure 31 : Implantation de la base logistique sur le port de Saint-Nazaire (source EMF).....	54
Figure 32 : Modélisation de la base logistique du Port de Belfast (source DONG Energy).....	54
Figure 33 : Tête de forage et guide (source DONG Energy).....	56
Figure 34 : Installation d'une sous-station (source DONG Energy).....	57
Figure 35 : Monopieux placés sur barge (source DONG Energy).....	58
Figure 36 : Descente du monopieu dans son guide (source DONG Energy).....	58
Figure 37 : Mise à l'eau de la pièce de transition (source DONG Energy).....	60
Figure 38 : Atelier de cimentation offshore (source DONG Energy).....	60
Figure 39 : Chargement d'aérogénérateurs à quai (source DONG Energy).....	61
Figure 40 : Navire HGO Innovation en mode navigation et en mode élevé (source HGO).....	62
Figure 41 : Outil de basculement du rotor, de 165 t de capacité (source Gusto MSC).....	62
Figure 42 : Navire d'installation après montage d'un aérogénérateur (source A2SEA).....	63
Figure 43 : Barge équipée d'un carrousel (source DONG Energy).....	64
Figure 44 : Navire support « Maersk Assister » (source DONG Energy).....	65
Figure 45 : Schéma de profil du trancheur mécanique.....	66
Figure 46 : Trancheur mécanique.....	66
Figure 47 : ROV à jets hydrauliques.....	66
Figure 48 : Exemple de matelas et coques en béton.....	67
Figure 49 : Exemple de coque en polyuréthane ou polyéthylène.....	67
Figure 50 : Schéma prévisionnel de la protection de câble par enrochement (source EMF).....	68
Figure 51 : Exemple de navire durant une opération de dépôt de matériaux (source DONG Energy).....	68
Figure 52 : Schéma d'une installation de câble ensouillé (source RTE).....	69
Figure 53 : Exemple de protection externe par matelas.....	70
Figure 54 : Illustration d'enrochement.....	70
Figure 55 : Câbles tripolaires protégés par enrochement sur le banc de Guérande (vue en coupe, valeurs indicatives).....	71
Figure 56 : Câbles tripolaires ensouillés dans le fond marin en pleine mer, vue en coupe.....	72
Figure 57 : Objectif de protection des câbles sous-marins.....	72
Figure 58 : Chambre de jonction (atterrage).....	73
Figure 59 : Exemple de charrue (schéma de principe et photographie).....	74
Figure 60 : Exemple de water jetting.....	74
Figure 61 : Exemple de pelle rétro-caveuse, ici avec navire sablier et remorqueur.....	75
Figure 62 : Exemple de pelle mécanique sur barge autoélévatrice.....	75
Figure 63 : Exemple de trancheuse mécanique.....	75
Figure 64 : Exemple d'une barge de pose.....	76
Figure 65 : Illustration d'un navire posant des câbles (Source : Global Marine System).....	76
Figure 66 : Illustration des différents types de navire d'enrochement (Source Kuik, 1986).....	77
Figure 67 : Coupe-type d'un bloc fourreaux (PEHD).....	78
Figure 68 : Coupe-type d'un bloc fourreaux (PVC).....	79
Figure 69 : Illustration d'une liaison souterraine à deux circuits.....	79
Figure 70 : Exemple d'une chambre de jonction pour un circuit à 225 000 volts.....	79
Figure 71 : Schéma de principe d'un forage dirigé.....	80
Figure 72 : Exemple d'un forage dirigé 4 trous ou 1 trou (suivant répartition des fourreaux).....	81
Figure 73 : Pose de buse ou des fourreaux directement dans le lit.....	81
Figure 74 : Pose de batardeaux provisoires.....	82
Figure 75 : Exemples de batardeaux provisoires.....	82
Figure 76 : Exemple d'organisation d'un chantier hors voiries.....	83
Figure 77 : Exemples de pistes en « plaques » et en matériaux.....	83
Figure 78 : Etude de l'ergonomie des opérations de maintenance (source Alstom).....	84
Figure 79 : Feux de signalisation maritime (source EMF).....	87
Figure 80 : Navire de transfert monocoque sur le parc éolien en mer d'Horns Rev (source DONG Energy).....	89
Figure 81 : Hélicoptère sur le site d'Horns Rev (source DONG Energy).....	89

Figure 82 : Accès à la turbine par la pièce de transition (source DONG Energy)	89
Figure 83 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc (source Artelia)	96
Figure 84 : Dépose des câbles ensouillés	97
Figure 85 : Séquençage des opérations de dépose de la turbine (source Artelia, d'après images EMF)	98
Figure 86 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la fondation monopieu (source Artelia)	99
Figure 87 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la sous-station électrique (source Artelia)	100
Figure 88 : Synthèse des ports susceptibles d'accueillir la filière démantèlement (source Artelia / Geoportail)	101
Figure 89 : Planning prévisionnel pour la dépose du parc (approche préliminaire) (source Artelia)	102
Figure 90 : Répartition des matériaux pour l'ensemble du parc (Source ARTELIA, d'après données EDF-EN)	102

1 CONTEXTE ENERGETIQUE

1 CONTEXTE ENERGETIQUE

1.1	Les grands défis énergétiques	3
1.1.1	Lutter contre le changement climatique	3
1.1.2	Diminuer la dépendance aux énergies fossiles	4
1.2	Evolution de la demande d'électricité en France.....	5
1.3	Evolution de la production d'électricité en France	6
1.4	La politique de Développement des énergies renouvelables en France	9
1.4.1	Atteindre 23% d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie en 2020	9
1.4.2	Contribution de l'éolien à la Réduction des émissions de gaz à effet de serre.....	10
1.4.3	Soutien au développement de l'éolien en mer	10
1.5	L'éolien en mer, nouvelle filière industrielle.....	12

1 CONTEXTE ENERGETIQUE

1. Le projet d'implantation du parc éolien au large de Saint Nazaire est porté par la société **Parc du Banc de Guérande** (ci-après nommée « PBG »), une société par actions simplifiées, détenue par la société Eolien Maritime France (EMF) (elle-même filiale de la société EDF EN France SA et de DONG Energy Wind Power Holding A /S). Par arrêté du 6 novembre 2012, le Ministre en charge de l'Énergie a transféré à PBG l'autorisation d'exploiter initialement délivrée à EMF à l'issue de l'appel d'offres (le 23 Avril 2012). En parallèle, l'Etat français a confié à **Réseau de Transport d'Electricité (RTE)** la charge du raccordement électrique, depuis le poste électrique en mer jusqu'au poste électrique à terre.

1.1 LES GRANDS DEFIS ENERGETIQUES

2. Les politiques énergétiques, européenne comme française, intègrent les défis majeurs que représentent :
 - le changement climatique,
 - la dépendance croissante aux importations d'énergies fossiles, qui pèse sur l'équilibre de la balance commerciale,
 - la pression exercée sur les ressources énergétiques
 - et l'accès pour tous les consommateurs à une énergie sûre à un prix abordable.

1.1.1 LUTTER CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

3. L'Union européenne s'est engagée d'ici 2020 à atteindre l'objectif dit des « 3 X 20 » :
 - à réduire de 20 % ses émissions de gaz à effet de serre (par rapport à celles de 1990),
 - à augmenter la part des énergies renouvelables pour atteindre 20 % de la consommation finale d'énergie,
 - et à améliorer l'efficacité énergétique de 20 % (par rapport à l'augmentation tendancielle).
4. À plus long terme, l'objectif de l'Union Européenne est défini dans la Feuille de route pour une économie sobre en carbone à l'horizon 2050. Ce texte vise à réduire de 80 à 95 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 (par rapport au niveau de l'année 1990). Cette feuille de route prévoit une transition progressive vers une économie verte permettant de limiter le réchauffement climatique à 2°C.
5. Dans cette perspective, la directive européenne d'avril 2009¹, relative à la promotion de l'énergie provenant de sources d'énergie renouvelables, vise à supprimer les obstacles qui pourraient nuire à la croissance des énergies renouvelables. Cette directive comprend, entre autres, des obligations sur l'accès prioritaire au réseau de l'électricité d'origine renouvelable, et des objectifs nationaux significatifs pour les énergies renouvelables. Elle comprend également des dispositions renforcées visant à limiter les formalités administratives, mettre en place des mécanismes de planification et améliorer la transparence des autorisations de construction et d'exploitation de sources d'énergie renouvelable.

1 Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables

6. En cohérence avec la politique énergétique européenne, la France a engagé un programme de lutte contre le changement climatique. Elle a pour objectif de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 1990, soit une baisse de 3 % en moyenne par année (loi du 13 juillet 2005). Cette politique s'accompagne d'un objectif volontariste de développement des énergies renouvelables, pour atteindre 23 % de la consommation finale d'énergie en 2020.
7. En 2013 a eu lieu le débat sur la transition énergétique qui a donné naissance au projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte. Ce projet de loi prévoit notamment les objectifs suivants :
 - Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40% entre 1990 et 2030 et les diviser par quatre à l'horizon 2050 (facteur 4),
 - Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012 et porter le rythme annuel de baisse de l'intensité énergétique finale à 2,5 % d'ici à 2030,
 - Réduire la consommation d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à 2012,
 - Porter la part des énergies renouvelables à 23% de notre consommation énergétique finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030,
 - Porter la part du nucléaire à 50% dans la production d'électricité à l'horizon 2025.

1.1.2 DIMINUER LA DEPENDANCE AUX ENERGIES FOSSILES

8. La France et l'Europe ont fait de l'indépendance énergétique et de la sécurité d'approvisionnement des axes prioritaires de leurs politiques énergétiques. Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), les ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon) fournissent aujourd'hui 81 % de la production énergétique mondiale.
9. Or, selon l'AIE, au regard des estimations relatives à la croissance économique et démographique mondiale, la demande d'énergie primaire devrait augmenter d'un tiers entre 2010 et 2035. 90 % de cette croissance concernera les pays non membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). La demande énergétique mondiale pourrait même doubler à l'horizon 2050. Jusqu'en 2030, les combustibles fossiles permettraient de couvrir la majeure partie de l'augmentation de la consommation d'énergie et la consommation de pétrole progresserait d'environ 42 %. L'autre partie de cette augmentation devra être fournie par les sources d'énergie renouvelable. Cette augmentation des besoins fait peser un risque important sur notre indépendance énergétique, les ressources fossiles n'étant pas réparties uniformément entre les différents pays et devenant de plus en plus difficiles d'accès. Les énergies renouvelables permettent de gagner en indépendance énergétique, la ressource nécessaire étant, pour la plupart, gratuite et relativement bien répartie dans le monde.
10. Aujourd'hui, la France produit environ 1% de ses besoins en pétrole et en gaz. En 2012, elle importait l'équivalent de 9 milliards d'euros de gaz naturel et de 36,3 milliards d'euros de pétrole brut, ce qui représente plus de la moitié des produits énergétiques importés. Pour donner un ordre de grandeur, en 2013, selon le ministère de l'Économie et des Finances², le montant de la facture énergétique (désignant le solde financier « importations - exportations » d'énergie - pétrole, gaz naturel, électricité, etc.), s'est élevé à 65,6 milliards d'euros, soit une diminution de 4 milliards d'euros par rapport à l'année 2012. Cela représente un peu plus du montant du déficit commercial de la France qui s'établit à 61,2 milliards d'euros³.

² Ministère de l'Économie et des finances, Les Chiffres du commerce extérieur, 7 février 2014.

³ <http://lekiosque.finances.gouv.fr/Appchiffre/Etudes/Thematiques/A2013.pdf>

1.2 EVOLUTION DE LA DEMANDE D'ELECTRICITE EN FRANCE

11. En France, en 2013, la consommation électrique a atteint 495 térawattheures en données brutes. Après correction des divers aléas conjoncturels (aléa météorologique, 2012 année bissextile, variation des soutirages du secteur énergie), on constate que la consommation de la France s'établit à 476 TWh, un niveau très proche de celui atteint en 2012.
12. Entre 1973 et 2012, la consommation finale d'électricité a presque triplé, ce qui correspond à un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 2,7%.
13. Cela s'explique par la hausse de la consommation du secteur du résidentiel et tertiaire, qui a été multipliée par cinq sur cette période. La consommation du secteur des transports a doublé et celle de l'industrie a augmenté de moitié⁴.

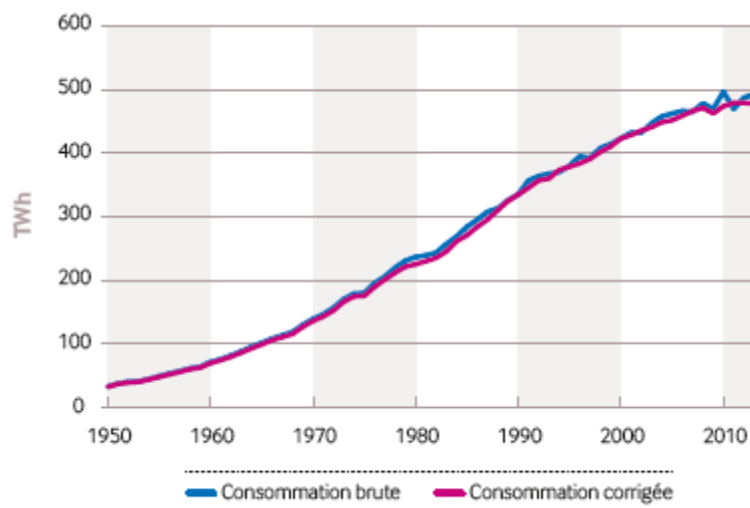


Figure 1 : Historique de la consommation d'électricité corrigée (source RTE Bilan prévisionnel de l'équilibre offre/demande, 2014)

14. Depuis 2001, la consommation des secteurs résidentiel et tertiaire a poursuivi sa croissance, alors que celles des secteurs de l'industrie, l'agriculture, l'énergie et des transports tend à se stabiliser, voire à diminuer. L'augmentation dans les secteurs résidentiel et tertiaire peut s'expliquer par l'augmentation du nombre d'habitants et surtout de foyers, le développement de nouveaux usages (notamment des technologies de l'information et de la communication, des transports urbains électriques) et celui du chauffage électrique, particulièrement présent dans les logements neufs. Toutefois, les effets de la nouvelle réglementation thermique, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2013, se traduisent par un ralentissement marqué et pérenne de l'utilisation du chauffage électrique.

⁴ CGDD, Chiffres-clés de l'énergie, édition 2013.

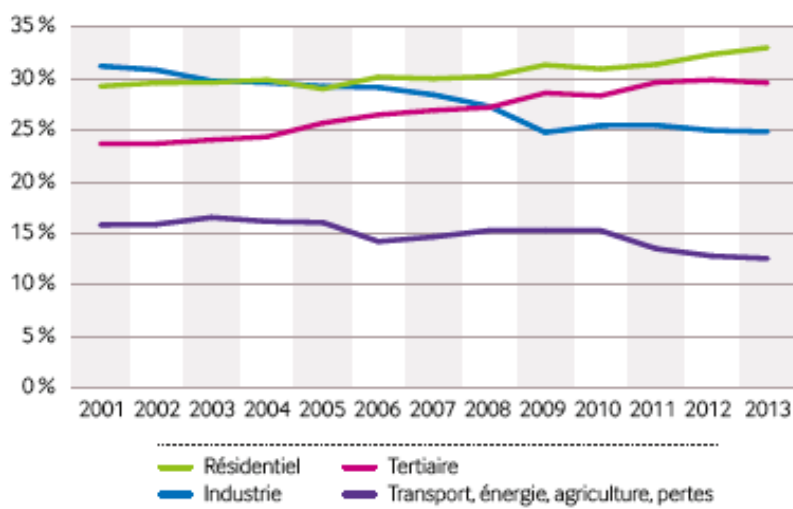


Figure 2 : Evolution du poids des principaux secteurs dans la consommation d'électricité (source RTE, 2014)

15. A l'avenir, des transferts d'usages énergétiques vers l'électricité sont également à prévoir (transports ferrés, véhicules électriques, pompes à chaleur).
16. Les perspectives de croissance de la consommation d'électricité s'inscrivent dans le contexte de la politique de réduction de la demande d'énergie que la France a adoptée. Cette politique cible en particulier les bâtiments résidentiels et tertiaires qui consomment près de 45 % de l'énergie finale (et plus des deux tiers de la consommation finale d'électricité). Un programme de rénovation thermique de grande ampleur a été adopté, visant à dynamiser la rénovation du parc de bâtiments et le recours aux énergies renouvelables (chauffage au bois, solaire thermique, photovoltaïque).
17. Dans son bilan prévisionnel de l'équilibre offre/demande d'électricité en France, de septembre 2014⁵, RTE estime que la consommation d'électricité en France évoluera de façon relativement peu dynamique pour se situer entre 448 et 546 térawattheures en 2030 selon le scénario retenu⁶.

1.3 EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE EN FRANCE

18. La production d'électricité de l'Union Européenne a progressé de 26 % entre 1990 et 2009. Les émissions de gaz à effet de serre en résultant ont néanmoins été réduites, en raison de l'utilisation croissante des énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables) et du recul de la production fossile (dont les combustibles sont le charbon, le gaz naturel et le fioul). En France, entre 1973 et 2012, la production totale d'électricité a triplé. La production d'origine nucléaire occupe une place prépondérante : elle est passée de 15 TWh à 442 TWh, soit respectivement 8 % à 79 % de la production totale. Cette augmentation de la part du nucléaire dans la production d'électricité s'est accompagnée d'une baisse de la production thermique dont le niveau a diminué de plus de la moitié entre 1973 (date du premier choc pétrolier) et 2010. La production d'électricité à partir de charbon a progressivement diminué au profit du gaz naturel même si on assiste depuis 2012 à une inversion

⁵ RTE, Bilan prévisionnel de l'équilibre offre - demande d'électricité en France, septembre 2014.

⁶ Ces différents scénarii retiennent des hypothèses différentes de consommation et de production : « Diversification », « Consommation forte », « Nouveau mix » et « Croissance faible ».

liée à l'exploitation des gaz de schiste, entraînant une diminution de la demande en charbon en Amérique du Nord, donc une baisse des prix et un report sur le marché européen **Error! Reference source not found.** L'ensemble « hydraulique, éolien et photovoltaïque » a augmenté de 74 %, mais sa part dans le mix de production a diminué de 26 % à 11 %, tandis que la production d'électricité d'origine thermique classique a reculé de plus de moitié, avec une part chutant des deux tiers à moins de 10 %.

19. En France, selon le bilan pour l'année 2013 (voir Figure 3) établi par RTE⁷, le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, la part de l'électricité issue de sources d'énergies renouvelables a atteint 18,6 % de la production française en 2013 (soit une énergie équivalente à 16,2% de la consommation). Il s'agit de la valeur la plus élevée atteinte au cours des cinq dernières années. La production issue de sources d'énergies renouvelables hors hydraulique augmente de 8,1% et dépasse désormais les 25 TWh. La production éolienne représentait en 2013, 2,9% de la production électrique totale.

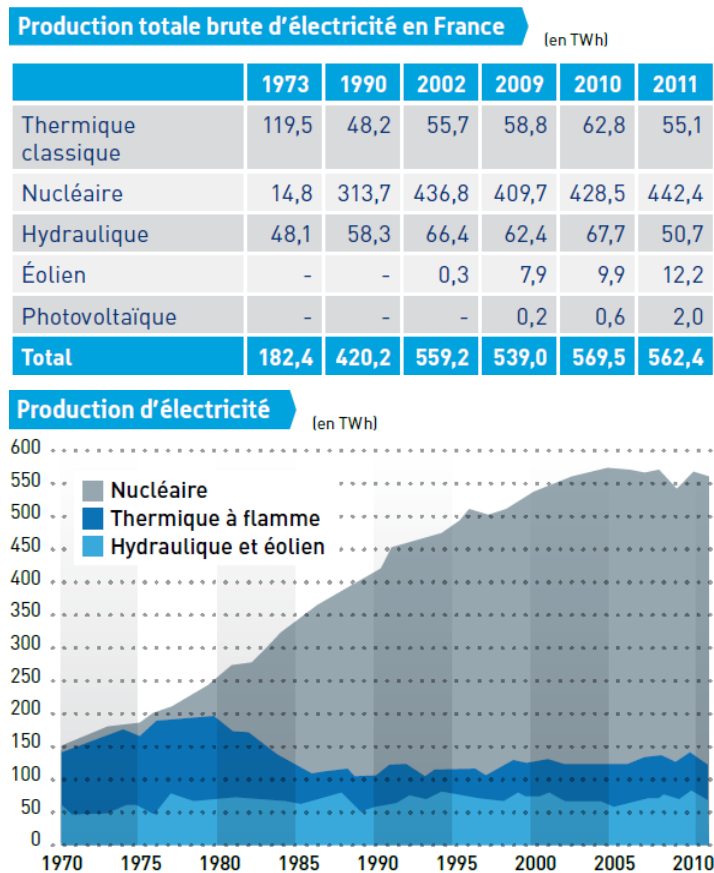


Figure 3 : Production d'électricité en France (source SOeS, bilan de l'énergie, 2011).

⁷ RTE, Bilan électrique 2013.

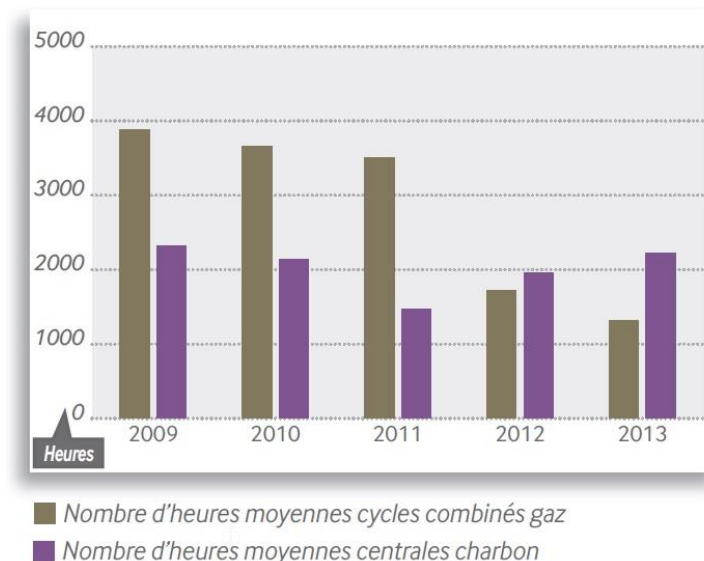


Figure 4 : Nombre d'heures équivalent pleine puissance des centrales charbon et cycles combinés gaz (source RTE – Bilan Electrique, 2013).

Energie produite	TWh	Variation 2013/2012	Part de la production	Emissions de CO ₂ (millions de tonnes)
Production nette	550,9	+1,7%	100,0%	29,1
Nucléaire	403,7	-0,3%	73,3%	0,0
Thermique à combustible fossile	44,7	-7,1%	8,1%	26,1
<i>dont charbon</i>	19,8	+14,0%	3,6%	19,0
<i>fioul</i>	5,4	-19,2%	1,0%	1,4
<i>gaz</i>	19,5	-18,9%	3,5%	5,6
Hydraulique	75,7	+18,7%	13,8%	0,0
Eolien	15,9	+6,4%	2,9%	0,0
Photovoltaïque	4,6	+16,2%	0,8%	0,0
Autres sources d'énergies renouvelables	6,3	+7,0%	1,1%	3,0

Figure 5 : Mix de production d'électricité en France en 2013 (source RTE – Bilan Electrique, 2013).

1.4 LA POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES EN FRANCE

1.4.1 ATTEINDRE 23% D'ENERGIES RENOUVELABLES DANS LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN 2020

20. La France a pris l'engagement d'atteindre 23 % d'énergies renouvelables dans sa consommation d'énergie en 2020. Si la chaleur et le bâtiment représentent l'effort le plus important à réaliser, l'électricité doit y contribuer à plus d'un tiers, l'éolien représentant 40 % de cette électricité d'origine renouvelable.

Secteur renouvelable	Situation en 2006	Objectif 2020	Croissance
Chaleur	9,6 Mtep*	19,7 Mtep	+ 10 Mtep
Bois (Chauffage domestique)	7,4 Mtep (5,7 millions d'appareils)	7,4 Mtep (9 millions)	
Bois et déchets (collectif/tertiaire/industrie)	1,8 Mtep	9 Mtep	+ 7,2 Mtep
Solaire thermique, PAC et géothermie	0,4 Mtep (200 000 logements)	3,2 Mtep (6 000 000 logements)	+ 2,8 Mtep
Électricité	5,6 Mtep	12,6 Mtep	+ 7 Mtep
Hydraulique	5,2 Mtep (25 000 MW)	5,8 Mtep (27 500 MW)	+ 0,6 Mtep
Biomasse	0,2 Mtep (350 MW)	1,4 Mtep (2 300 MW)	+ 1,2 Mtep
Eolien	0,2 Mtep (1 600 MW - 2 000 éoliennes)	5 Mtep (25 000 MW - 8 000 éoliennes)	+ 4,8 Mtep
Solaire photovoltaïque	0	0,4 Mtep (5 400 MW)	+ 0,4 Mtep
Biocarburants	0,7 Mtep	4 Mtep	+ 3,3 Mtep
Total	~ 16 Mtep	~ 36 Mtep	+ 20 Mtep

*Mégatonne d'équivalent pétrole

Tableau 1 : Déclinaison de l'objectif des 23% pour le secteur des énergies renouvelables (source PPI 2009)

21. Concernant l'électricité, la politique énergétique nationale se concrétise par la Programmation Pluriannuelle des Investissements de production d'électricité (PPI). Établie par le Ministre en charge de l'Énergie, elle fait l'objet d'un rapport présenté au Parlement (loi du 10 février 2000). La PPI prévoit notamment le développement de 19 000 mégawatts d'installations éoliennes à terre et de 6 000 mégawatts d'installations éoliennes en mer à l'horizon 2020. L'ensemble de ce parc éolien devrait ainsi couvrir 10% environ de notre consommation d'électricité en 2020 (contre 2,9 % en 2012), et éviter l'émission de 16 millions de tonnes de CO₂ par an. À titre de comparaison, en France, un habitant émet en moyenne 6,1 tonnes de CO₂ par an (chiffre 2008, source INSEE).
22. Suite à la conférence environnementale des 14 et 15 septembre 2012, le Débat national sur la transition énergétique s'est tenu de fin 2012 à juillet 2013, poursuivant l'objectif pour le Gouvernement de recueillir les éléments lui permettant d'élaborer à partir de l'automne 2013, un projet de loi de programmation sur la transition énergétique. Ce projet de loi, qui a été présenté fin juin 2014 en Conseil des ministres, a fait l'objet d'une discussion au Parlement au deuxième semestre 2014 et doit être adopté définitivement en 2015.
23. Parmi les thèmes du débat, figurait celui des choix pour le mix énergétique à l'horizon 2030, et en particulier les objectifs de diminution de la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité en France (de 70% aujourd'hui à 40% en 2025) et l'augmentation de la couverture de la consommation par les énergies de source renouvelable (de 16% aujourd'hui à 32% en 2030). Ce projet de loi doit donc permettre de définir les besoins en énergie de la France à moyen et long terme ainsi que les moyens de production énergétique nécessaires.

24. Le projet de loi pour la transition énergétique et la croissance verte prévoit que ces besoins seront inscrits dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPI) qui sera établies tous les trois ans. La première doit être adoptée par décret pour la période 2015-2018.

1.4.2 CONTRIBUTION DE L'EOLIEN A LA REDUCTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

25. L'énergie éolienne représente un levier de progression important dans l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation française d'énergie. La France dispose d'un important potentiel de vent et la production d'électricité éolienne génère très peu d'émissions de gaz à effet de serre. Dans le cadre du projet éolien de Saint-Nazaire, les émissions de GES ramenées au kWh produit sont de 18,5 g eq.CO₂ / kWh produit +/- 0,6 g eq.CO₂ / kWh produit.
26. L'électricité ne se stockant pas ou difficilement et avec des coûts prohibitifs, la production doit à tout moment, pouvoir s'adapter à la demande. La loi confie au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité (RTE) le soin d'assurer en temps réel l'équilibre entre l'offre et la demande. Il peut mobiliser à cet effet les réserves de puissance que l'ensemble des producteurs d'électricité centralisée sont tenus de constituer via un dispositif d'appel d'offres continu appelé « mécanisme d'ajustement ».
27. Si le vent, à l'échelle locale peut être difficile à prédire, selon RTE, il se produit à l'échelle nationale un effet de moyenne qui permet de prévoir la production avec une bonne précision. Cela permet d'intégrer au mieux la production éolienne au système électrique qui contribue ainsi à l'équilibre entre l'offre et la demande. Lors des récentes périodes de forte consommation électrique (vagues de froid de 2011, 2012 et 2013, pointes de 19h), l'éolien a pleinement contribué à cet équilibre avec des facteurs de charge moyens constatés de 24 à 25%.
28. Etant donné le bouquet énergétique français et les capacités de prévision actuelles, l'introduction de la production éolienne ne nécessite pas aujourd'hui de centrales thermiques de réserve supplémentaires.
29. Le réseau de transport contribue à l'insertion des productions renouvelables nationales et européennes en mutualisant les productions résultant des différents régimes de vent en Europe et les moyens de production thermiques et d'effacement nécessaires à la sécurisation de l'équilibre offre/demande à tout instant.

1.4.3 SOUTIEN AU DEVELOPPEMENT DE L'EOLIEN EN MER

30. La France est le deuxième espace maritime du monde, et dispose du deuxième gisement de vent d'Europe derrière le Royaume-Uni. En raison de ce potentiel significatif, combinant les critères de puissance, de régularité du vent et de caractéristiques du plateau continental, la France offre d'importantes possibilités d'implantation de parcs éoliens de grande taille.
31. Le Grenelle de la mer a permis d'adopter en 2009 le Livre Bleu, qui définit les grandes orientations d'une stratégie nationale pour la mer et le littoral. Il reconnaît le rôle des énergies marines renouvelables dans une politique intégrée de la mer et du littoral. C'est lors de son adoption en comité interministériel, en 2009, que le lancement d'un appel d'offres éolien en mer a été annoncé.
32. Pour atteindre l'objectif de 6 000 mégawatts éoliens en mer en 2020, l'État a fait le constat dès 2009 qu'une action d'envergure de planification et de concertation était nécessaire.
33. L'État souhaitait également favoriser la création d'une filière industrielle, pour laquelle la France dispose de nombreux atouts tels que d'importantes infrastructures maritimes et terrestres et des compétences industrielles dans les secteurs de l'énergie et de l'exploitation de pétrole en mer.

34. L'article 10 de la loi 2000-108 permet aux installations éoliennes en mer de bénéficier de l'obligation d'achat. Il existait jusqu'au 28 mai 2014, un tarif d'achat garanti pour l'éolien en mer, fixé à 130 €/MWh. Compte tenu de la moindre maturité des technologies, ce niveau de tarif était insuffisant pour permettre l'équilibre économique des parcs éoliens en mer. Pour cette raison et afin d'encadrer et de permettre le déploiement de cette technologie au large des côtes françaises, l'État a décidé de lancer des appels d'offres pour l'implantation de plusieurs parcs éoliens en mer.
35. Le 11 juillet 2011, le gouvernement a lancé un premier appel d'offres portant sur une puissance maximale de 3 000 mégawatts répartis sur cinq zones, définies à l'issue d'un processus de concertation : Le Tréport, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire. Les candidats devaient remettre leur offre avant le 11 janvier 2012. Pour répondre aux objectifs de production d'énergie renouvelable à un prix compétitif et de création d'une filière industrielle, la sélection des offres s'est effectuée sur les critères de volet industriel (40 % de la note finale), du prix d'achat de l'électricité proposé (40 % de la note finale), et de la prise en compte des activités existantes et de l'environnement (20 % de la note finale).

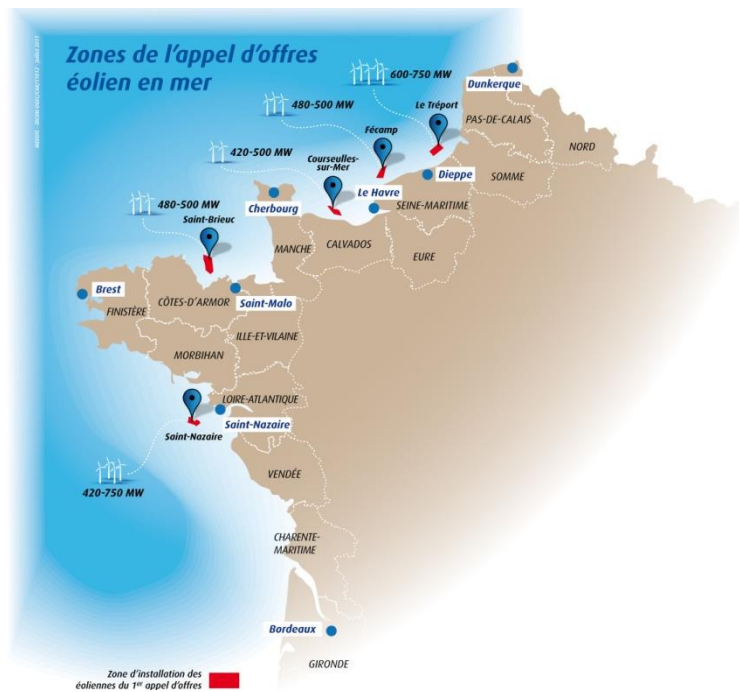


Figure 6 : Zones proposées lors du premier appel d'offres pour l'implantation de parcs éoliens en mer.

36. Un deuxième appel d'offres a été lancé le 18 mars 2013, portant sur deux zones, pour une puissance maximale de 500 MW chacune : la zone du Tréport, qui n'avait pas été attribuée à l'issue du premier appel d'offres de 2011 et la zone située entre les îles d'Yeu et Noirmoutier. Ces deux lots ont été attribués le 7 mai 2014.

1.5 L'ÉOLIEN EN MER, NOUVELLE FILIÈRE INDUSTRIELLE

37. L'Europe a été pionnière dans le développement de l'éolien en mer. Ainsi, en 2007, une capacité éolienne en mer supérieure à 1 000 mégawatts était répartie entre cinq pays : le Danemark, l'Irlande, les Pays-Bas, la Suède et le Royaume-Uni. Début 2012, les capacités éoliennes européennes installées en mer représentaient environ 10 % des capacités éoliennes totales de l'Europe. Fin 2013 la capacité éolienne totale installée en mer était de 6 562 mégawatts⁸, ce qui correspond à une croissance de plus de 30 % en 2013, avec en tête le Royaume-Uni, l'Allemagne, le Danemark et la Belgique.
38. La Commission européenne recommande le développement de l'énergie éolienne en mer à hauteur de 30 gigawatts en 2020 et 110 gigawatts en 2030. L'Association Européenne de l'Énergie Éolienne (EWEA⁹) prévoit, pour sa part, une capacité totale de 40 gigawatts en 2020, pour une production annuelle de 148 térawattheures, représentant 4 % des besoins en électricité de l'Union européenne estimés à cette date.
39. Hormis la France, plusieurs pays européens se sont fixé des objectifs de développement éolien en mer très ambitieux. Le Royaume-Uni, qui a déjà installé plus de 3,5 gigawatts éoliens en mer fin 2013, vise un objectif de 18 gigawatts en 2020 et 32 gigawatts en 2030. Il envisage au-delà, d'atteindre les 40 gigawatts. L'Allemagne s'est fixé un objectif de 10 gigawatts éoliens en mer en 2020 et 23 gigawatts en 2030.
40. La mise en service de ces capacités s'accompagne de créations d'emplois. L'Europe dispose de compétences traditionnelles qui contribuent à lui donner une position forte dans l'industrie éolienne en mer, notamment grâce à ses fabricants d'éoliennes terrestres, ses compagnies pétrolières et parapétrolières et son industrie maritime qui disposent de savoir-faire spécifiques. EWEA prévoit ainsi 160 000 emplois en 2020 avec la réalisation de 40 gigawatts. Selon le Syndicat des énergies renouvelables, ce sont 30 000 emplois qui sont attendus en France, grâce au développement de 6 000 mégawatts éoliens en mer. D'autre part, la constitution d'une filière industrielle de l'éolien en mer devrait permettre à la France de se positionner pour l'ensemble des énergies marines renouvelables.
41. Le développement de cette filière de l'éolien en mer générera également des retombées fiscales. En effet, les éoliennes en mer sont soumises à une taxe spéciale, fixée dans le Code général des impôts à l'article 1519 B à 14 113 euros par mégawatt installé et par an. Ce montant évolue chaque année au rythme de l'indice de valeur du produit intérieur brut. Cette taxe est due à compter de l'année suivant la mise en service de chacune des tranches du parc.
42. Pour le parc éolien de Saint-Nazaire, le produit de la taxe spéciale est estimé à 6,5 millions d'euros par an, répartis de la manière suivante :
- 50% pour les communes littorales situées à moins de 12 milles marins du parc et depuis lesquelles au moins une éolienne est visible ;
 - 35% pour le Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins pour le financement de projets concourant à l'exploitation durable des ressources halieutiques ;
 - 15% dédiés, à l'échelle de la façade maritime, au financement de projets concourant au développement durable des autres activités maritimes.

⁸ EWEA, The European offshore wind industry - key trends and statistics 1st half 2013

⁹ EWEA, Wind in our sails, the coming of Europe's offshore wind energy industry, 2011.

2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

La construction puis l'exploitation d'un parc éolien en mer nécessitent l'obtention de plusieurs autorisations dépendant de plusieurs Codes.

2.1 CADRE JURIDIQUE DU PARC EOLIEN

43. Le projet d'implantation du parc éolien au large de Saint Nazaire est porté par la société Parc du Banc de Guérande (ci-après « PBG »), une société par actions simplifiée, détenue par la société Eolien Maritime France (EMF) (elle-même filiale de la société EDF EN France SA et de DONG Energy Wind Power Holding A/S), Par arrêté du 6 novembre 2012, le Ministre en charge de l'Énergie a transféré à PBG l'autorisation d'exploiter initialement délivrée à EMF à l'issue de l'appel d'offres sur l'éolien en mer 2011/S 126-208873.
44. La réalisation et l'aboutissement de ce projet de parc éolien en mer passe par l'obtention d'un certain nombre d'autorisations administratives :
- tout d'abord, le projet doit faire l'objet d'une demande de concession d'utilisation du domaine public maritime (DPM) régit par les articles L.2124-3 et R.2124-2 du Code Général de la Propriété des Personnes Publiques.
 - Il doit également faire l'objet d'une étude d'impact conformément à l'article L.122-1 du Code de l'Environnement qui dispose que « les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine sont précédés d'une étude d'impact ». L'étude d'impact est encadrée par les articles L.122-1 à L.122-3 du Code de l'environnement.
 - D'autre part, suivant les articles L.214-1 à 2, L214-3-1 et R214-6 du Code de l'environnement, le projet est soumis à l'obtention d'une autorisation au titre de la Loi sur l'Eau et les milieux aquatiques (LSE). Les rubriques de la nomenclature des IOTA concernées sont les suivantes :
 - o 4.1.2.0 : *Travaux portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu d'un montant supérieur à 1 900 000 euros : **Autorisation***
 - o 4.1.3.0 : *Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin dont la teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments qui y figurent, et dont le volume in situ dragué au cours de 12 mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m³ sur la façade Atlantique-Manche-mer du Nord et à 500 m³ ailleurs ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines, mais inférieur à 500 000 m³ : **Déclaration***

L'étude d'impact requise a été construite de manière à contenir toutes les informations demandées afin de valoir étude d'incidence au titre de la Loi sur l'Eau.
 - Enfin, afin de vérifier sa compatibilité avec les objectifs de conservation des sites Natura 2000, le projet fait l'objet d'une évaluation des incidences Natura 2000. Cette étude est codifiée aux articles L.414-4 et suivants et R.414-19 et suivants du Code de l'Environnement, résultant de la transposition des directives communautaires dites « Oiseaux » et « Habitats, Faune, Flore ».

2.2 CADRE JURIDIQUE DU RACCORDEMENT ELECTRIQUE

45. La société **Réseau de Transport d'Electricité (RTE)** est chargée du raccordement électrique, depuis le poste électrique en mer jusqu'au poste électrique à terre.
46. L'article L.122-1 du code de l'environnement précise que les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine sont précédés d'une étude d'impact.
47. Ces projets sont soumis à étude d'impact en fonction de critères et de seuils définis par voie réglementaire et, pour certains d'entre eux, après un examen au cas par cas effectué par l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement.
48. L'étude d'impact est établie conformément aux articles R.122-1 à R.122-15 pris pour application des articles L.122-1 à L.122-3-3 du code de l'environnement.
49. Concernant le raccordement électrique du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, l'annexe de l'article R.122-2 du code de l'environnement, et en particulier la rubrique 28 « Ouvrages de transport et de distribution d'énergie électrique », dispose que les projets de construction et travaux d'installation des liaisons souterraines d'une tension égale ou supérieure à 225 000 volts et d'une longueur de plus de 15 kilomètres et les postes dont la tension maximale de transformation est égale ou supérieure à 63 000 volts, à l'exclusion des opérations qui n'entraînent pas d'augmentation de leur surface foncière, sont soumis à étude d'impact.
50. L'article R.122-7 du code de l'environnement prévoit la transmission pour avis du dossier comprenant l'étude d'impact à l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement définie à l'article R.122-6.
51. Ainsi, l'étude d'impact du présent projet est transmise pour avis au Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD), autorité administrative compétente en matière d'environnement en l'espèce. L'avis du CGEDD est intégré en annexe au dossier soumis à enquête publique.
52. Par ailleurs, l'article L.414-4 du code de l'environnement précise que lorsqu'ils sont susceptibles d'affecter de manière significative un site Natura 2000, individuellement ou en raison de leurs effets cumulés, les documents de planification, les programmes ou projets d'activités, de travaux, d'aménagements, d'ouvrages ou d'installations, les manifestations et interventions soumis à un régime administratif d'autorisation, d'approbation ou de déclaration au titre d'une législation ou d'une réglementation distincte de Natura 2000 et figurant sur une liste nationale ou sur une liste locale, font l'objet d'une évaluation d'incidences encadrée par les articles R.414-19 à R.414-26 du code de l'environnement. La liste nationale telle que fixée par l'article R.414-19, concerne notamment les travaux et projets devant faire l'objet d'une étude d'impact au titre des articles R.122-2 et R.122-3 du code de l'environnement et les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) soumis à autorisation ou déclaration au titre des articles L. 214-1 à L. 214-11.
53. Au regard de l'article R.214-1 du code de l'environnement portant nomenclature des IOTA soumis à déclaration ou à autorisation au titre de la loi sur l'eau, le projet de raccordement sera également soumis à autorisation. Les rubriques de la nomenclature des IOTA concernées par le projet de raccordement électrique sont les suivantes :
 - Pour la partie « liaison sous-marine » :
 - 4.1.2.0 : *Travaux d'aménagements portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu aquatique et ayant une incidence directe sur le milieu d'un montant supérieur ou égal à 1 900 000€ : **Autorisation***

- Pour la partie « liaison souterraine » :
 - 3.1.2.0 : *Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau sur une longueur de cours d'eau supérieur ou égale à 100 m : **Autorisation***
 - 3.1.4.0 : *Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m : **Déclaration***
 - 3.1.5.0 : *Installation, ouvrages, travaux, ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet Destruction de plus de 200 m² de frayère : **Autorisation***
 - Pour le « poste de raccordement » :
 - 2.1.5.0 : *Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha : **Déclaration**.*
54. Le dossier d'autorisation, intégrant l'ensemble des rubriques de la nomenclature IOTA concernées par le projet, devra être adressé au préfet du département. L'article R.214-8 du code de l'environnement précise que l'opération pour laquelle l'autorisation est sollicitée est soumise à enquête publique.
55. Par ailleurs, conformément aux dispositions des articles R.214-6 ET R.214-32 du code de l'environnement, lorsqu'une étude d'impact est exigée en application des articles R.122-2 et R.122-3, elle est jointe à ce document, qu'elle remplace si elle contient les informations demandées. Pour le présent projet, l'étude d'impact vaut étude d'incidence au titre de la loi sur l'eau. Conformément aux dispositions législatives et réglementaires applicables, les pièces constitutives de la demande d'autorisation au titre des articles R.214-1 et suivants et L.214-1 et suivants sont intégrées dans l'étude d'impact.
56. En outre, conformément aux dispositions des articles L.2124-1 et suivants et R.2124-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques (CGPPP), toute utilisation ou occupation du Domaine Public Maritime nécessite une autorisation. A ce titre, l'implantation des ouvrages de raccordement d'un parc de production d'électricité en mer nécessite l'obtention d'une concession d'utilisation du domaine public maritime délivrée pour une durée ne pouvant excéder 30 ans.
57. Le dossier de demande de concession doit être adressé à l'autorité concédante. L'article R.2124-2 du CGPPP détermine précisément le contenu de ce dossier et indique les éléments qu'il doit comprendre, notamment l'étude d'impact ainsi que son résumé non technique. Dès qu'elle est saisie de la demande, l'autorité concédante consulte le préfet maritime. Il lui incombe ensuite de procéder à une publicité dans la presse préalablement à l'ouverture de l'instruction administrative. Le projet doit ensuite être soumis à enquête publique.
58. Le projet fait également l'objet d'une instruction administrative en vue de l'obtention d'une Déclaration d'Utilité Publique (DUP) emportant mise en compatibilité des documents d'urbanisme pour la liaison de raccordement. La présente étude d'impact constituera la pièce maîtresse des documents soumis à enquête publique préalable à la DUP. Pour le projet, la DUP relève de la compétence conjointe du Ministre en charge de l'énergie et du ministre en charge de l'urbanisme.
59. Le futur poste de raccordement sur la commune de Prinquiau fait l'objet d'une demande d'approbation du projet d'ouvrage (APO) portant les mesures d'évitement, de réduction et de compensation liées à la construction du poste, conformément aux dispositions de l'article L. 122-1 IV du code de l'environnement. A ce titre, seront joints au dossier d'APO l'étude d'impact, l'avis de l'autorité environnementale et les résultats de la consultation du public.

2.3 CADRE JURIDIQUE DU PROGRAMME

60. L'évaluation environnementale du projet a été réalisée par EMF et RTE, respectivement pour le parc éolien et la liaison de raccordement électrique. Ces deux études constituent les fascicules B1 et B2 du présent dossier.
61. Par ailleurs, l'article L122-3 stipule que « lorsque [des] projets concourent à la réalisation d'un même programme de travaux, d'aménagements ou d'ouvrages et lorsque ces projets sont réalisés de manière simultanée, l'étude d'impact doit porter sur l'ensemble du programme ».
62. EMF et RTE ont donc convenu de produire une étude des impacts environnementaux du « programme » dans sa globalité, depuis l'implantation du parc éolien en mer jusqu'à la livraison d'électricité au poste de raccordement terrestre. Le fascicule C, basé sur l'analyse croisée des deux études spécifiques (fascicules B1 et B2), constitue le volet « programme » de la présente étude d'impact : ce fascicule présente une appréciation des impacts de l'ensemble du programme, conformément au 12° de la rubrique R.122-5 du Code de l'Environnement.
63. Dans le but de simplifier la lecture de l'ensemble du dossier d'étude d'impact, une table de correspondance est proposée dans la section « ARTICULATION DE L'ETUDE D'IMPACT », ci-après.

3 ARTICULATION DE L'ETUDE D'IMPACT

64. La table de correspondance du dossier d'étude d'impact est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Table de correspondance – contenu de l'étude d'impact

Articulation du dossier	Fascicules	Chapitres
1° Une description du projet (...);	Fascicule A	4
2° Une analyse de l'état initial (...);	Fascicule B1	4
	Fascicule B2	1
	Fascicule C	2
3° Une analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant la phase des travaux) et permanents, à court, moyen et long terme, du projet sur l'environnement, (...);	Fascicule B1	5
	Fascicule B2	2
	Fascicule C	3
4° Une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus (...);	Fascicule B1	6
	Fascicule B2	3
	Fascicule C	4
5° Une esquisse des principales solutions de substitution examinées par le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage et les raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé humaine, le projet a été retenu ;	Fascicule B1	3
	Fascicule B2	4
	Fascicule C	1
6° Les éléments permettant d'apprécier la compatibilité du projet avec l'affectation des sols définie par le document d'urbanisme opposables (...); (et avec « le schéma directeur ou le schéma d'aménagement et de gestion des eaux et avec les dispositions du plan de gestion des risques d'inondation » conformément à l'article R214-6 – II.c)	Fascicule B1	6
	Fascicule B2	5
	Fascicule C	5
7° Les mesures prévues par le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage pour : - Eviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement, - Compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables du projet sur l'environnement (...); La description de ces mesures doit être accompagnée de l'estimation des dépenses correspondantes, de l'exposé des effets attendus de ces mesures à l'égard des impacts du projet sur les éléments visés au 3° ainsi que d'une présentation des principales modalités de suivi de ces mesures et du suivi de leurs effets sur les éléments visés au 3° (...);	Fascicule B1	8 - 9
	Fascicule B2	6
	Fascicule C	6
8° Une présentation des méthodes utilisées pour établir l'état initial visé au 2° et évaluer les effets du projet sur l'environnement (...);	Fascicule B1	10 - 11
	Fascicule B2	7
	Fascicule C	1
9° Une description des difficultés éventuelles, de nature technique ou scientifique, rencontrées par le maître d'ouvrage pour réaliser cette étude ;	Fascicule B1	10 - 11
	Fascicule B2	7
	Fascicule C	1
10° Les noms et qualités précises et complètes du ou des auteurs de l'étude d'impact et des études qui ont contribué à sa réalisation (...);	Fascicule A	5
	Fascicule B1	13
	Fascicule C	7

Articulation du dossier	Fascicules	Chapitres
IV. Afin de faciliter la prise de connaissance par le public des informations contenues dans l'étude, celle-ci est précédée d'un résumé non-technique des informations visées aux II et III. Ce résumé peut faire l'objet d'un document indépendant.	Fascicule 0 (Résumé non technique)	
V. Pour les travaux, ouvrages ou aménagements soumis à autorisation en application du titre Ier du livre II, l'étude d'impact vaut document d'incidences si elle contient les éléments exigés pour ce document par l'article R.214-6. <i>Les références au contenu d'un document d'incidence (conformément au R214-6 du Code de l'Environnement) sont indiquées dans chacune des notes de présentation des demandes d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau</i>	La présente étude d'impact constituée des fascicules 0, A, B1, B2, C vaut document d'incidences	
VI. Pour les travaux ouvrages ou aménagements devant faire l'objet d'une étude d'incidences en application des dispositions du chapitre IV du titre Ier du livre IV, l'étude d'impact vaut étude d'incidences si elle contient les éléments exigés par l'article R.414-23.	Dossiers d'Evaluation des Incidences Natura 2000 fourni dans des documents séparés	

4 DESCRIPTION DU PROGRAMME

4 DESCRIPTION DU PROGRAMME

4.1	Maîtres d'ouvrage du programme.....	25
4.1.1	Maître d'ouvrage du parc éolien	25
4.1.2	Maître d'ouvrage du raccordement.....	26
4.2	Présentation du programme	28
4.2.1	Parc éolien	28
4.2.2	Raccordement au réseau de transport d'électricité	29
4.3	Composants du programme.....	37
4.3.1	Introduction.....	37
4.3.2	Sous-station en mer.....	38
4.3.3	Fondations et pièces de transition des éoliennes.....	41
4.3.4	Eoliennes	46
4.3.5	Câblage inter-éolien.....	49
4.3.6	Raccordement au réseau public	50
4.3.7	Ouvrages connexes	52
4.4	Modalités d'installation	55
4.4.1	Sous-station en mer.....	55
4.4.2	Fondations et pièces de transition des éoliennes.....	57
4.4.3	Eoliennes	61
4.4.4	Câblage inter-éoliennes	63
4.4.5	Liaison sous-marine de raccordement.....	68
4.4.6	Liaison souterraine	78
4.5	Modalités d'exploitation et de maintenance	84
4.5.1	Fiabilité des éoliennes	84
4.5.2	Signalisation du parc.....	85
4.5.3	Supervision du parc	88
4.5.4	Maintenance du parc.....	88
4.5.5	Nature des opérations de maintenance du parc	90
4.5.6	Nature des opérations de maintenance du raccordement.....	91
4.5.7	Gestion des pollutions et des déchets	92
4.6	Conditions de démantèlement envisagées	94
4.6.1	Éléments réglementaires applicables	94
4.6.2	Objectifs du démantèlement et de remise en état du site	95
4.6.3	Séquençage des opérations de dépose	95
4.6.4	Moyens logistiques portuaires à proximité du parc	100
4.6.5	Planning des opérations en mer de dépose.....	101
4.6.6	Recyclage des éléments constituant le parc	102
4.7	Calendrier prévisionnel.....	104
4.7.1	Avril 2012 – octobre 2013 : levée des risques	104
4.7.2	Octobre 2013 – mi 2016 : études, demandes d'autorisations & décisions sur le projet	104
4.7.3	2016 – 2019 : construction du programme	105
4.7.4	2018 – 2020 : démarrage progressif de l'exploitation	105

4 DESCRIPTION DU PROGRAMME

4.1 MAITRES D'OUVRAGE DU PROGRAMME

65. Le projet d'implantation du parc éolien au large de Saint Nazaire est porté par la société **Parc du Banc de Guérande** (ci-après « PBG »), une société par actions simplifiées, détenue par la société Eolien Maritime France (EMF) (elle-même filiale de la société EDF EN France SA et de DONG Energy Wind Power Holding A /S). Par arrêté du 6 novembre 2012, le Ministre en charge de l'Énergie a transféré à PBG l'autorisation d'exploiter initialement délivrée le 23 avril 2012 à EMF à l'issue de l'appel d'offres.
66. En parallèle, l'Etat français a confié à **Réseau de Transport d'Electricité (RTE)** la charge de dimensionner, obtenir les autorisations administratives, construire et opérer le raccordement électrique entre le poste électrique en mer et le poste électrique à terre.

4.1.1 MAITRE D'OUVRAGE DU PARC EOLIEN

67. Le maître d'ouvrage est la société Parc du Banc de Guérande, filiale d'Éolien Maritime France. Par arrêté du 18 avril 2012, la EMF a été autorisée à exploiter un parc éolien d'une capacité de production de 480 mégawatts, localisé sur le domaine public maritime au large de Saint Nazaire. Cette autorisation fait suite à la désignation de la société EMF comme lauréat de l'appel d'offres lancé par l'État.
68. Éolien Maritime France est un consortium regroupant la société EDF EN France et DONG Energy Wind Power. Éolien Maritime France a constitué une société de projet pour la réalisation du projet de parc éolien au large de Saint Nazaire, dénommée Parc du Banc de Guérande, et a sollicité et obtenu le transfert de l'autorisation d'exploiter au bénéfice de cette société de projet, filiale d'Éolien Maritime France. Par arrêté du 6 novembre 2012 du Ministre en charge de l'Énergie, la société Parc du Banc de Guérande est par conséquent détentrice de l'autorisation d'exploiter attribuée à l'issue de l'appel d'offres de l'État. Elle a comme partenaire le groupe Alstom pour la fourniture des éoliennes.
69. Les savoir-faire complémentaires du maître d'ouvrage et de ses actionnaires et partenaires couvrent tous les secteurs de l'énergie éolienne, sur l'ensemble des différentes phases d'un projet : depuis la prospection et le développement, jusqu'à la construction, l'exploitation, la maintenance et le démantèlement d'un parc éolien en mer.
 - EDF EN France est une filiale d'EDF Energies Nouvelles et apporte son savoir-faire en matière de développement d'énergies renouvelables et celui du groupe EDF pour les projets énergétiques de grande ampleur.
 - DONG Energy Wind Power est détenu à 57% par l'État danois, qui dispose de 30 ans d'expérience dans le domaine de l'énergie éolienne et de 20 ans dans l'éolien en mer. DONG Energy travaille aujourd'hui à la construction de plus de 1 000 mégawatts et exploite 15 parcs éoliens en mer, soit un total d'environ 2600 mégawatts.
 - Le groupe Alstom apporte la capacité de production d'un leader sur les marchés des infrastructures de transport/Transmission d'électricité et de transport ferroviaire et son savoir-faire en matière de création de filière industrielle, notamment en France.
70. La société de projet Parc du Banc de Guérande prévoit d'installer en Loire-Atlantique, au large de Saint-Nazaire, un parc éolien en mer d'une puissance de 480 mégawatts (MW) à 12 kilomètres des côtes, tout en respectant les usages de la mer, la sécurité maritime et l'environnement. Ce parc comprend 80 éoliennes de 6 mégawatts chacune et un poste électrique en mer, ou sous-station, réparties sur une surface de 78km². Les éoliennes sont reliées à la sous-station par des câbles sous-marins. Deux câbles relient également la sous-station au réseau public de transport d'électricité.
71. L'installation du parc durera 4 ans (travaux à terre + travaux en mer) et s'effectuera essentiellement à partir du port de Saint-Nazaire. L'exploitation du parc devrait démarrer progressivement à partir de

2018 pour une mise en service complète en 2020 (jusqu'à trois tranches seront mises en service successivement). La durée d'exploitation envisagée pour le parc éolien en mer est de 25 ans. Les activités d'exploitation et de maintenance du parc éolien en mer nécessiteront une centaine d'emplois. En fin d'exploitation, il est prévu de démanteler le parc et de remettre le site en état, en concertation avec les acteurs du territoire et les usagers de la mer. Le maître d'ouvrage a l'obligation de constituer des garanties préalablement à la mise en service du parc éolien, nécessaires au financement des opérations de démantèlement. Le montant de l'investissement du projet est estimé à 2 milliards d'euros.

4.1.2 MAITRE D'OUVRAGE DU RACCORDEMENT

RTE, des missions essentielles au service de ses clients, de l'activité économique et de la collectivité

Des missions définies par la loi

72. La loi a confié à RTE la gestion du réseau public de transport d'électricité français. Entreprise au service de ses clients, de l'activité économique et de la collectivité, elle a pour mission l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau haute et très haute tension afin d'en assurer le bon fonctionnement.
73. RTE est chargé des 100 000 km de liaisons haute et très haute tension et des 46 liaisons transfrontalières (appelées "interconnexions").
74. RTE achemine l'électricité entre les fournisseurs d'électricité et les consommateurs, qu'ils soient distributeurs d'électricité ou industriels directement raccordés au réseau de transport quelle que soit leur zone d'implantation. Il est garant du bon fonctionnement et de la sûreté du système électrique quel que soit le moment.
75. RTE garantit à tous les utilisateurs du réseau de transport d'électricité un traitement équitable dans la transparence et sans discrimination.



76. En vertu des dispositions du code de l'énergie, RTE doit assurer le développement du réseau public de transport pour permettre à la production et à la consommation d'électricité d'évoluer librement dans le cadre des règles qui les régissent. A titre d'exemple, tout consommateur peut faire évoluer à la hausse et à la baisse sa consommation : RTE doit adapter constamment la gestion de son réseau pour maintenir l'équilibre entre la production et la consommation.

Assurer un haut niveau de qualité de service

77. RTE assure à tout instant l'équilibre des flux d'électricité sur le réseau en équilibrant l'offre et la demande. Cette mission est essentielle au maintien de la sûreté du système électrique.
78. RTE assure à tous ses clients l'accès à une alimentation électrique économique, sûre et de bonne qualité. Cet aspect est notamment essentiel à certains processus industriels qui, sans elle, disparaîtraient.
79. RTE remplit donc des missions essentielles au pays. Ces missions sont placées sous le contrôle des services du ministère chargé de l'énergie et de l'environnement, et de la commission de régulation de l'énergie. En particulier, celle-ci vérifie par ses audits et l'examen du programme d'investissements de RTE, que ces missions sont accomplies au coût le plus juste pour la collectivité.

Accompagner la transition énergétique et l'activité économique

80. Dès l'horizon à dix ans, l'analyse prospective montre d'importants défis à relever à l'échelle mondiale et par la suite au niveau de chaque pays. Les enjeux de la transition énergétique soulignent la nécessité d'avoir une plus grande sobriété énergétique et de se tourner vers d'autres sources d'approvisionnement que les énergies fossiles. La lutte contre le réchauffement climatique donne à ces préoccupations une importance accrue.
81. Au regard tant du nombre d'acteurs impliqués que des enjeux économiques, les principaux efforts de la transition énergétique portent sur la maîtrise de la demande et l'adaptation des besoins du réseau.
82. En l'absence de technologies de stockage décentralisé suffisamment matures pour être disponibles à la hauteur des besoins, le réseau de transport d'électricité continuera d'assurer dans la transition énergétique, la mutualisation des aléas et par la suite la sécurisation et l'optimisation de l'approvisionnement électrique. Cela nécessitera que RTE développe de manière importante le réseau pendant les dix années à venir ; ainsi plus de dix milliards d'euros devront-ils être investis durant cette période pour contribuer à relever les défis du système électrique.
83. A cet égard, RTE est un acteur important du développement économique, comme le montre l'investissement annuel d'1,4 milliard d'euros comparé aux 213,4 milliards d'euros investis par l'ensemble des entreprises non financières en 2011 (source INSEE, investissement par secteur industriel en 2011). De plus, dans le domaine des travaux liés à la réalisation des ouvrages, on estime que les retombées locales en termes d'emploi représentent 25 à 30% du montant des marchés.

Assurer une intégration environnementale exemplaire

84. RTE assure l'entretien du réseau, son renforcement et son développement en veillant à réduire son impact environnemental.
85. RTE s'engage à concilier essor économique et respect de l'environnement : bonne intégration du réseau, économie des ressources, nouvelles technologies et préservation du milieu naturel. Les services du ministère chargé de l'environnement s'assurent du caractère exemplaire de cette intégration environnementale.
86. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site : www.rte-france.com

4.2 PRESENTATION DU PROGRAMME

4.2.1 PARC EOLIEN

4.2.1.1 ELEMENTS PRIS EN COMPTE POUR LA DEFINITION DE L'IMPLANTATION

87. L'implantation des aérogénérateurs dans la zone soumise à appel d'offres a été définie en tenant compte :
- de la volonté de limiter l'emprise du projet sur le domaine public maritime, par le choix d'aérogénérateurs de forte puissance unitaire permettant d'en limiter le nombre ;
 - de l'analyse de l'environnement local et des activités humaines dans la zone ;
 - de la volonté et nécessité d'assurer la sécurité maritime du parc et ses alentours ;
 - des recommandations de l'ensemble des parties prenantes afin de permettre une bonne intégration du projet dans son environnement ;
 - des considérations technico-économiques permettant d'optimiser la production et le coût de l'énergie compte tenu des conditions locales. L'aménagement de la zone est basé sur les études techniques et environnementales réalisées sur la zone (étude de vent, conditions météo-océaniques, campagne bathymétrique, campagnes géophysiques).

4.2.1.2 DISPOSITION DES ELEMENTS DU PARC EOLIEN

88. Le parc éolien en mer est constitué de 80 éoliennes de puissance unitaire de 6 mégawatts qui seront implantées sur une surface de 78 km² et espacées d'environ un kilomètre les unes des autres.

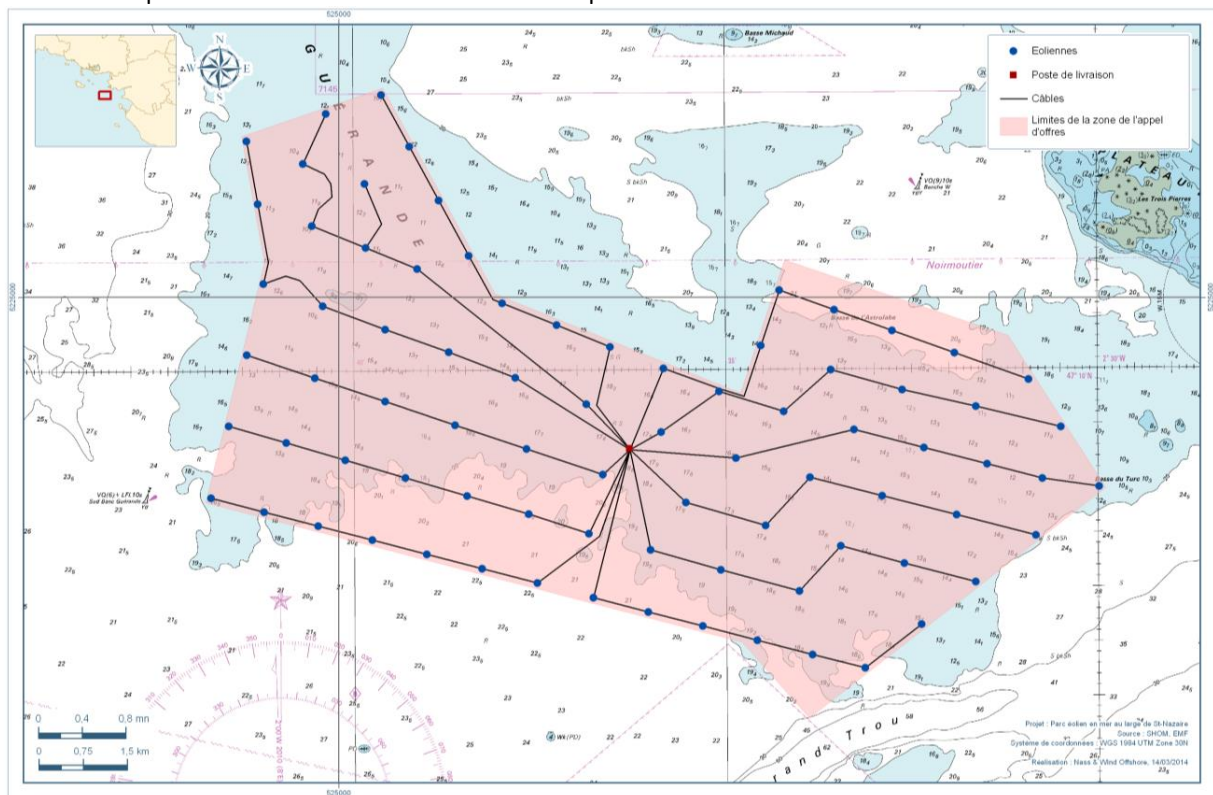


Figure 1: Implantation des composants du programme sur le banc de Guérande (source EMF)

89. Elles seront raccordées par des câbles électriques sous-marins à un poste électrique en mer, celui-ci étant raccordé au réseau public de transport d'électricité.
90. La sous-station en mer se situe au milieu du parc éolien. Cette position a été choisie pour minimiser les longueurs de câbles inter-éoliens. De même, les éoliennes sont réunies en 12 grappes de 6 à 7 éoliennes.
91. Le parc éolien sera raccordé au réseau public de transport d'électricité par RTE (Réseau de Transport d'Electricité), le gestionnaire de ce réseau. Ce raccordement sera établi par deux liaisons sous-marines jusqu'au poste d'atterrage, puis souterraines jusqu'au poste de raccordement au réseau haute tension.

4.2.2 RACCORDEMENT AU RESEAU DE TRANSPORT D'ELECTRICITE

4.2.2.1 NIVEAU DE TENSION DU RACCORDEMENT

92. Le niveau de tension de référence pour le raccordement d'une production d'une puissance de 480 MW est 400 000 volts. Il est toutefois possible de le réaliser en 225 000 volts si le coût de la solution de raccordement est inférieur.
93. La technologie pour les câbles sous-marins n'étant pas mature à la tension de 400 000 volts (absence de proposition industrielle sur le marché), le niveau de tension retenu est donc 225 000 volts.
94. La puissance à transiter nécessite la mise en place d'une liaison à deux circuits sous-marine et souterraine.
95. La carte suivante permet de situer le projet de parc éolien en mer de production d'électricité de la zone de Saint-Nazaire dans son environnement électrique et géographique.



4.2.2.2 RESEAU PUBLIC DE TRANSPORT D'ELECTRICITE LOCAL

96. La zone étudiée s'étend de la commune de Cordemais jusqu'à l'agglomération de Saint-Nazaire. Dans cette zone, le réseau public de transport d'électricité est composé des réseaux suivants :
- Le réseau à 400 000 volts, assurant le transport de quantités d'énergie sur de longues distances entre la région Pays-de-la-Loire et la région Bretagne. Le poste de CORDEMAIS, localisé en bord de Loire sur la commune de Cordemais, est le seul poste à 400 000 volts identifié dans cette zone.
 - Le réseau à 225 000 volts, dont la vocation est de répartir l'énergie en quantité moindre sur des distances plus courtes, décrivant un axe est-ouest entre la vallée de la Loire et la région Bretagne et desservant la zone de Saint-Nazaire. Il est constitué des postes de CORDEMAIS, PONTCHATEAU, GUERSAC, GRANDES-RIVIERES et SAINT-NAZAIRE.

4.2.2.3 SOLUTION DE RACCORDEMENT RETENUE

97. Au regard des études, la solution de raccordement retenue est la suivante : un raccordement à 225 000 volts qui implique la création d'un poste à 225 000 volts et d'une liaison électrique à deux circuits 225 000 volts entre le poste électrique en mer et ce nouveau poste.
98. Plusieurs lignes à 225 000 volts sont actuellement issues du poste de CORDEMAIS en direction du Nord-Ouest (vers Pontchâteau). La création d'un poste à 225 000 volts par entrée en coupure des deux lignes CORDEMAIS-POTEAU ROUGE et CORDEMAIS-PONTCHATEAU 2 aux environs du croisement de ces lignes avec la route Nantes-Saint-Nazaire (RN 171) permet de disposer d'un potentiel de raccordement de 480 MW sur ce poste. La solution consiste, outre la création de ce poste, à créer une liaison électrique à deux circuits 225 000 volts d'environ 60 kilomètres en technologie sous-marine et souterraine entre le poste électrique en mer du parc éolien de Saint Nazaire et ce poste.
99. Cette solution a été jugée recevable par la direction de l'énergie le 16 novembre 2012 ; ces dispositions conduisent au schéma suivant :

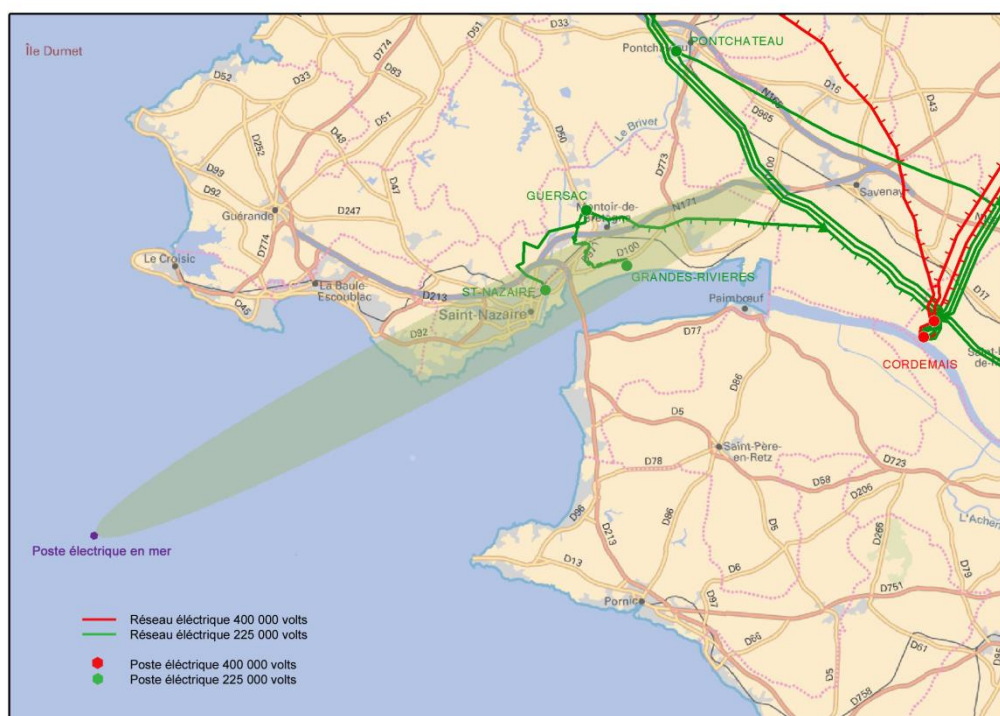


Figure 7 : Localisation du projet de parc éolien par rapport au réseau électrique terrestre (source RTE)

4.2.2.4 SITUATION DES OUVRAGES

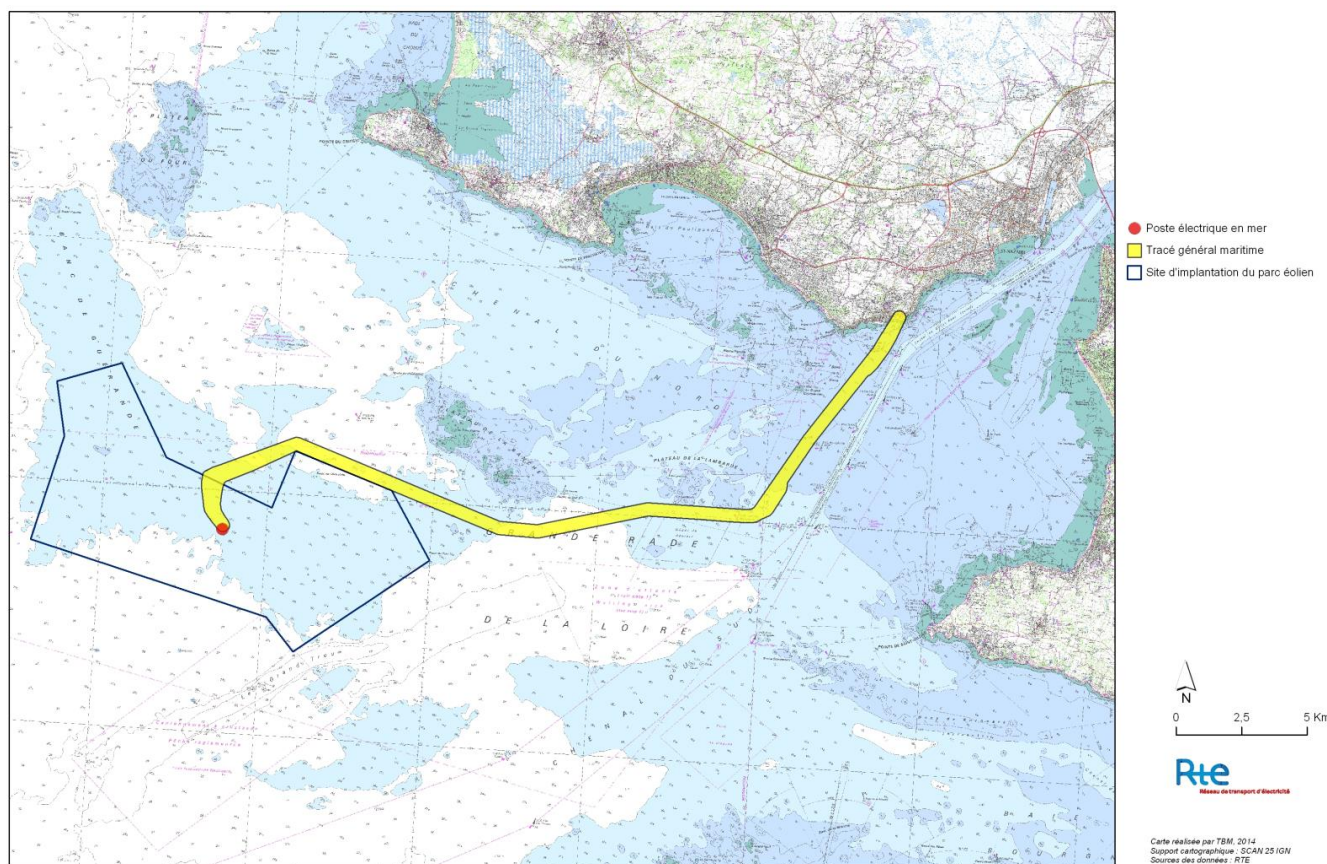
100. Comme détaillé dans le fascicule B2 de l'étude d'impact, l'intégration des préoccupations environnementales dans la conception du projet suit un processus progressif et continu s'articulant en trois grandes étapes :
- définition de l'aire d'étude dans laquelle s'inscrira le projet ;
 - identification, évaluation et comparaison des fuseaux pour une liaison, des emplacements pour un poste ;
 - mise au point du tracé général pour une liaison, de l'implantation générale pour un poste, analyse des impacts et proposition d'éventuelles mesures supplémentaires destinées à éviter, réduire et, si nécessaire, compenser les impacts du projet.
101. Chacune de ces trois étapes se conclut par une décision prise après concertation. Chaque choix définit le champ d'investigation de l'étape suivante et donc, en quelque sorte, son cahier des charges environnemental (territoire à étudier, niveau de précision...).
- la définition de l'aire d'étude vise à identifier le territoire dans lequel peut être envisagée l'insertion de l'ouvrage en excluant, a priori, les espaces étendus au sein desquels l'ouvrage aurait des impacts forts ;
 - la recherche des fuseaux et de l'emplacement du poste a pour objectif de mettre en évidence, à travers une analyse plus fine, les différentes options de cheminement et d'implantation possibles pour éviter les impacts, en anticipant, à ce stade, la possibilité d'en réduire certains ;
 - enfin, la mise au point du tracé (liaison) ou de l'implantation générale (poste) s'appuie sur une même logique d'évitement et de limitation des impacts, voire, si nécessaire de compensation des impacts résiduels.
102. Le projet de raccordement électrique du parc éolien en mer de Saint-Nazaire est localisé dans le département de Loire-Atlantique. Il se situe sur le domaine maritime entre le poste électrique du parc, au niveau du Banc de Guérande jusqu'à l'atterrissage à la plage de la Courance à Saint-Nazaire, et sur les communes de Saint-Nazaire, Trignac, Montoir-de-Bretagne, Donges et Prinquiau jusqu'au raccordement sur les lignes électriques 225 000 volts.
103. Les cartes pages suivantes permettent de localiser le projet.

4.2.2.5 TRACE GENERAL EN MER

104. Le tracé de la liaison sous-marine, qui fait l'objet d'une demande de déclaration d'utilité publique, est un tracé général à l'échelle 1/25 000. La carte page suivante présente le tracé général retenu.
105. Le tracé général en mer a été établi sur la base des éléments suivants :
- évitement des principales contraintes : zones rocheuses (La Banche et La Lambarde), zone de clapage, épaves, émissaire en mer, limites définies par le Grand port maritime de Nantes-Saint-Nazaire, projet de tracés de câbles inter-éolienne ;
 - résultats des études géotechniques ;
 - prise en compte des contraintes de poses (rayon de courbure).
106. Le linéaire du tracé est de 33 km environ. Il présente une largeur de 500 m environ ; les études ultérieures et la prise en compte de contraintes techniques permettront de définir le tracé de détail.
- Le point de départ de la liaison sous-marine est le poste de livraison du parc éolien au niveau du Banc de Guérande.
 - A partir du point de livraison en mer, le tracé s'effectue sur la zone rocheuse du plateau de Guérande jusqu'au sortir du parc éolien.
 - Il longe le nord-est du parc et évite par le sud les zones rocheuses du Plateau de la Banche.

- Le tracé général longe par le nord la zone de clapage du Grand port maritime de Nantes-Saint-Nazaire tout en évitant le plateau rocheux de La Lambarde.
- Le tracé remonte à l'ouest du chenal de Bonne Anse jusqu'à la plage de la Courance. Il s'appuie sur les limites définies par le Grand port maritime pour éviter des contraintes sur l'usage du chenal et de ses abords.
- Le point d'arrivée du tracé est la plage de la Courance sur la commune de Saint-Nazaire où seront positionnées les chambres d'atterrage dans lesquelles seront réalisées les jonctions entre les câbles sous-marins et les câbles terrestres.

Figure 8 : Tracé général maritime du raccordement (source RTE)



NB : cette carte est visible en format original (A3) dans l'atlas cartographique qui accompagne le fascicule B2.

107. Après prise en compte des zones identifiées à enjeux et ce dans une logique de moindre impact (Espaces remarquables au titre de la Loi Littoral), la zone d'atterrage est définie dans la figure ci-après.



 Zone d'atterrage

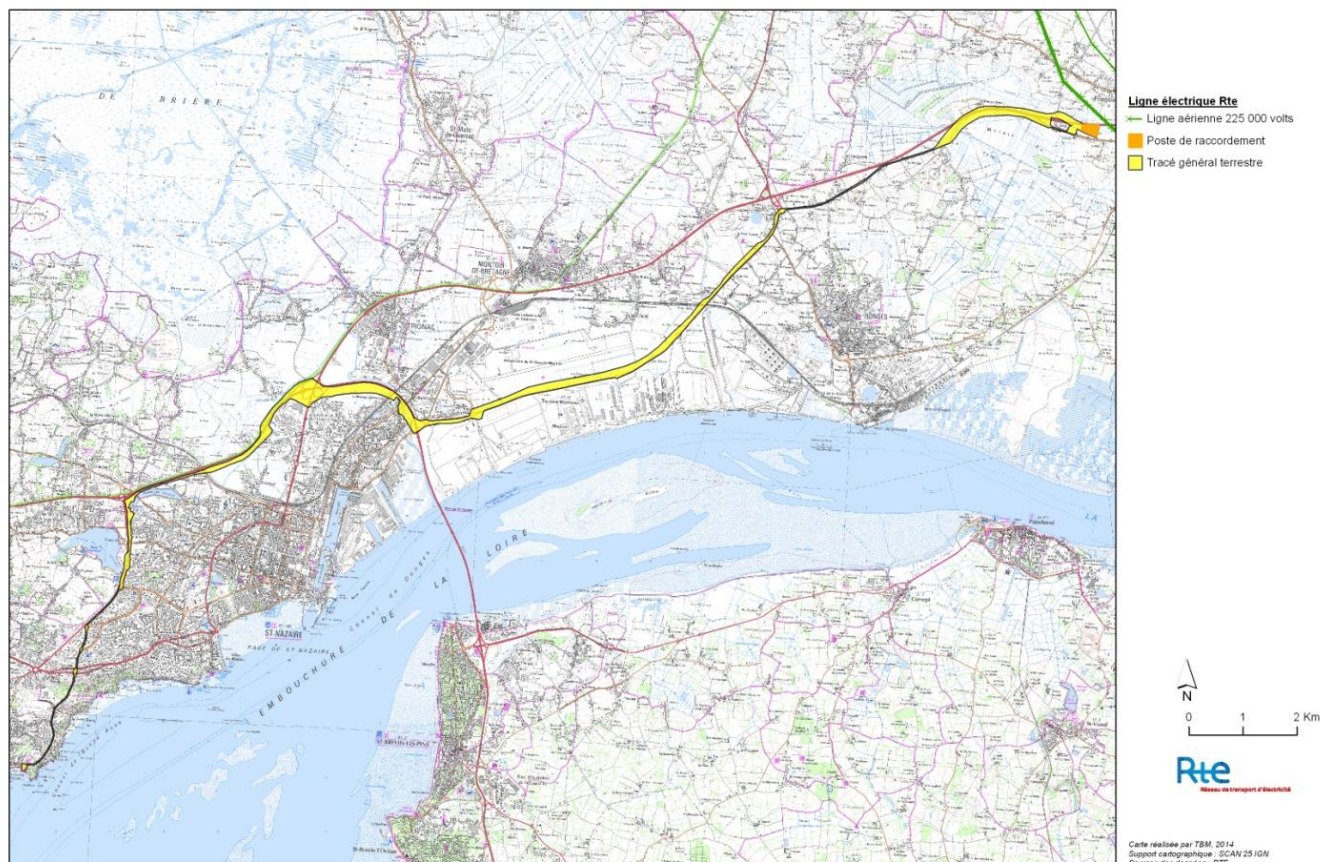
Figure 9 : Localisation de la zone d'atterrage sur la plage de la Courance (source RTE)

108. Les chambres d'atterrages seront implantées en haut de plage dans cette zone.

4.2.2.6 TRACE GENERAL TERRESTRE

109. Le tracé général de la liaison souterraine qui fait l'objet d'une demande de déclaration d'utilité publique est un tracé général à l'échelle 1/25 000. La carte page suivante présente le tracé général retenu.
110. Le tracé général à terre a été établi sur la base des principes suivants :
- éviter au maximum les Espaces Remarquables au titre de la Loi Littoral et les sites Natura 2000 ;
 - privilégier l'utilisation des infrastructures existantes tout en prenant en compte les enjeux liés aux trafics routiers sur les grands axes de circulation ;
 - prendre en compte les sensibilités des milieux et espèces inventoriées ;
 - favoriser le passage dans les routes secondaires ou les cheminements existants.

Figure 10 : Tracé général terrestre du raccordement et emplacement du poste d'atterrage (source RTE)



NB : cette carte est visible en format original (A3) dans l'atlas cartographique qui accompagne le fascicule B2.

111. La liaison souterraine d'une longueur d'environ 28 km concerne cinq communes du département de Loire-Atlantique : Saint-Nazaire, Trignac, Montoir-de-Bretagne, Donges et Prinquiau.
112. Le point de départ du tracé général de la liaison souterraine se situe au niveau de la plage de La Courance sur la commune de Saint-Nazaire, secteur où seront implantées les chambres d'atterrage.
113. Depuis la Courance, le tracé général suit les éléments suivants :
 - les voiries dans les quartiers résidentiels Les Rochelles, le Petit et le Grand Gavy. Ce sont les routes du Fort de l'Eve, de Saint-Marc et Pitre Grenapin.
 - le Boulevard Georges Charpak et intègre ces proches abords.
 - le boulevard Georges Charpak (RD492) jusqu'au sud de la route départementale 213 ou route bleue. Il bifurque alors vers l'est et les bassins de Guindreff, qu'il longe par le Nord.
 - la RD213 par le sud jusqu'à La Butte de La Savine puis le nord jusqu'à l'échangeur de Certé en intégrant les proches abords.
 - A partir de cet échangeur, le tracé général se dirige vers l'aval de la rivière du Brivet et intègre les délaissés, friches et prairies humides (et canaux drainants) entre Certé et La Menée de Lambourg. Il longe le Brivet et coupe la voie ferrée Saint-Nazaire Nantes et rejoint le quartier de Méan.



Figure 11 : Prairies La Menée Lambourg (cliché TBM)

- Il coupe le Brivet et la RD 213 menant au pont de Saint-Nazaire au niveau de Méan. Il intègre les échangeurs jusqu'au rond-point de Gron sur la commune de Montoir-de Bretagne.
- Les prairies au nord de RD 100 sont intégrées dans le tracé général. Le tracé évite donc le nord des zones industrialo-portuaires.
- Le tracé général longe la RD 100 et intègre ces proches abords jusqu'à la zone d'activité des Six-Croix.
- Sur ce parcours, le tracé général de la liaison souterraine coupe le Canal du Priory et le réseau d'infrastructures au niveau du lieu-dit Le Treveneux (voie ferrée, routes, etc.). Il intègre les abords de la RD100 et les voiries secondaires.
- Au rond-point des Six-croix, le tracé général emprunte la route desservant les hameaux de La Sensie. Une option du tracé permet d'envisager un passage au sud de la RN 171 en traversant des secteurs agricoles. A partir du Bochet, le tracé général s'élargit et intègre des secteurs de marais jusqu'au canal de la Taillée.



Figure 12 : Canal de La Taillée (cliché TBM)

- Le tracé coupe le canal de La Taillée, limite naturelle entre des communes de Donges et de Prinquiau, puis rejoint la RN 171.
- Depuis le canal de la Taillée et jusqu'à l'emplacement du poste de raccordement, sur la commune de Prinquiau, le tracé général intègre les limites nord des Marais du Sud (prairies et réseaux de canaux secondaires), le sud des marais de Prinquiau et de l'Hirondelle et la route secondaire desservant le lieu-dit du Bois de Sem.
- Deux possibilités sont ensuite envisagées pour rejoindre l'emplacement de poste de raccordement sur la commune de Prinquiau. Au niveau du lieu-dit de Sem, il s'agit soit de longer la RD 771, soit d'intégrer le nord de la RN 171 puis de rejoindre la Hunière où sera implanté le poste.

4.2.2.7 EMBLACEMENT DU POSTE A TERRE

114. Le poste de raccordement sera implanté sur trois parcelles agricoles, d'environ 5 hectares, sur la commune de Prinquiau en Loire-Atlantique. L'emplacement se situe entre la RN 171 et RD 771 « route de Saint-Nazaire », au lieu-dit la Hunière.
115. Ce dernier est pour partie remblayé et pour partie en zone humide, dont la fonctionnalité est altérée par la mise en culture.
116. La plate-forme et les installations ont été étudiées et dimensionnées de manière à limiter au maximum les impacts sur la zone humide. Ce travail a permis de proposer un projet de moindre impact, intégrant lors de sa conception le principe d'évitement.
117. Les installations et équipements ont été intégrés dans des bâtiments limitant ainsi les impacts paysagers.

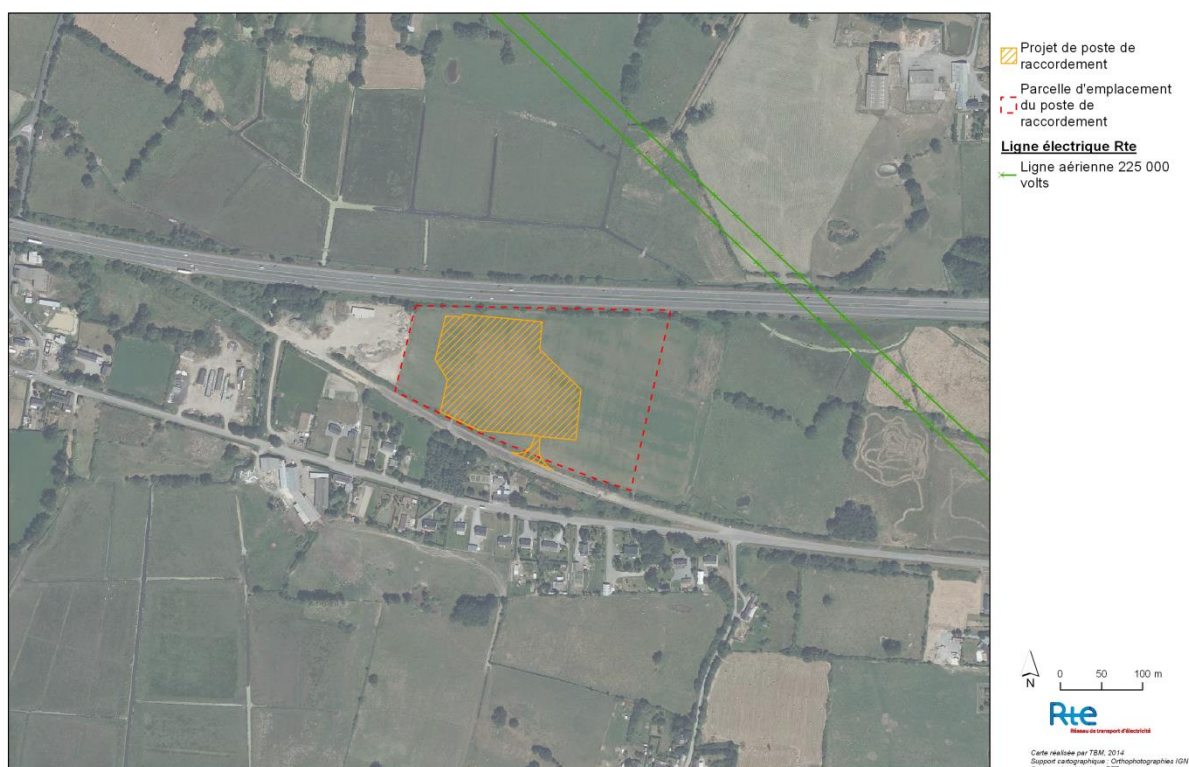


Figure 13 : Emplacement du poste (source RTE)

4.2.2.8 OUVRAGES CONNEXES

118. Le raccordement entre le poste et les lignes aériennes 225 000 volts existantes (CORDEMAIS - PONTCHATEAU 2 et CORDEMAIS - POTEAU ROUGE) se fera par deux liaisons souterraines doubles. Leur raccordement sur les lignes existantes nécessitera le remplacement ou l'adaptation de quelques pylônes pour accueillir les jonctions entre câbles souterrains et câbles aériens.

4.3 COMPOSANTS DU PROGRAMME

4.3.1 INTRODUCTION

119. Un parc éolien en mer comprend les groupes de composants suivants, dans l'ordre de leur installation :
- un poste électrique (ou sous-station) en mer vers lequel convergent tous les câbles électriques des éoliennes,
 - des fondations assurant le support et la stabilité des éoliennes,
 - des câbles électriques inter-éoliennes qui permettent de raccorder les éoliennes entre elles et au poste électrique en mer,
 - des éoliennes fixées sur chaque fondation, qui constituent la source de production d'électricité.
120. Le raccordement du parc éolien en mer doit être capable de transiter la puissance active maximale de l'installation de production, soit environ 480 MW; il nécessitera la création des ouvrages suivants :
- une liaison sous-marine à deux circuits 225 000 volts reliant le poste électrique en mer au point d'atterrage sur le littoral (33 km environ) ;
 - deux jonctions d'atterrage (une par circuit), pour réaliser la transition entre les câbles sous-marins et les câbles terrestres ;
 - une liaison souterraine à deux circuits 225 000 volts reliant le point d'atterrage au poste de raccordement au réseau public de transport d'électricité (28 km environ) ;
 - un poste électrique à 225 000 volts pour le raccordement qui sera connecté au réseau public de transport ;
 - deux liaisons souterraines à deux circuits 225 000 volts (entre 1 et 2 km) entre ce poste et les lignes existantes (Cordemais-Poteau Rouge et Cordemais-Pontchâteau 2).

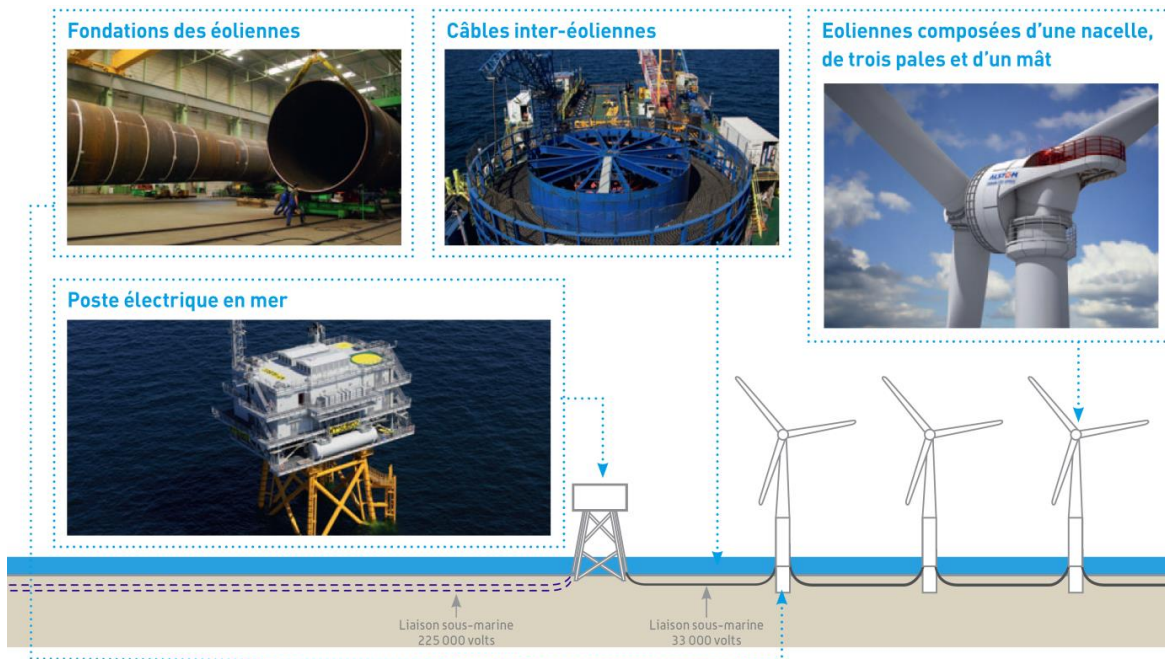


Figure 14 : Composantes générales d'un parc éolien marin (source EMF)

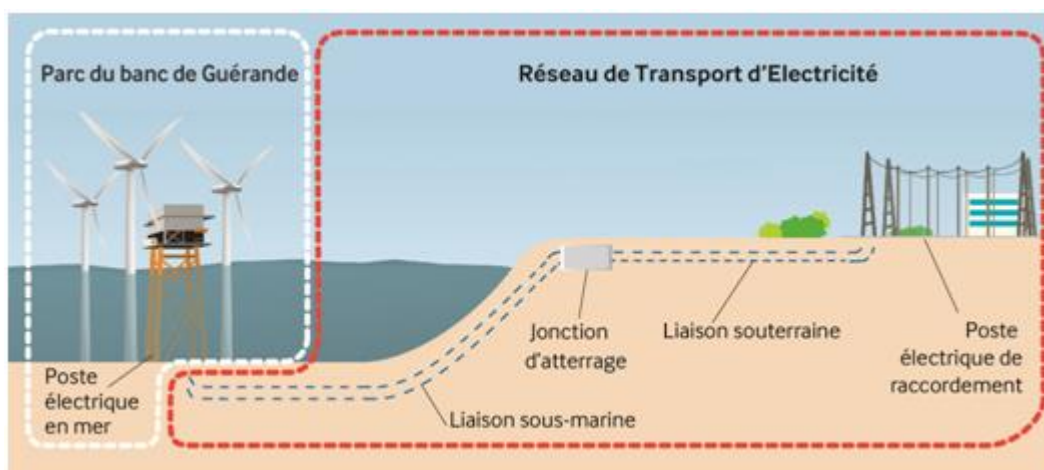


Figure 15 : Schéma de principe du raccordement (source RTE)

4.3.2 SOUS-STATION EN MER

4.3.2.1 PRESENTATION

121. Le parc éolien en mer de Saint-Nazaire sera raccordé au réseau public de transport d'électricité géré par RTE au niveau de deux points de livraison regroupés dans un poste électrique en mer. Ce poste électrique comprend les équipements de transformation et de comptage de l'énergie délivrée par les éoliennes.



Figure 16 : Sous-station du parc éolien de Walney (source DONG Energy).

122. La fonction principale du poste électrique en mer est d'élever la tension du courant généré par les éoliennes (33 kV^{10}) pour le transport jusqu'à la terre et sa connexion au réseau terrestre (225 kV).

¹⁰ 10 34 kV est envisageable également

Cette fonction est assurée par 2 transformateurs de puissance. Il est connecté par 2 câbles sous-marins jusqu'au réseau RTE. Le dimensionnement, l'approvisionnement, l'installation et l'exploitation de ces 2 câbles sous-marins seront réalisés par RTE. Les transformateurs sont dimensionnés en adéquation avec la puissance totale du parc éolien, soit environ 280 MVA¹¹ chacun.

123. Les fonctions physiques remplies par la structure du poste électrique en mer sont les suivantes :
- assurer la transmission et la répartition des charges de cet ouvrage dans le sol ;
 - intégrer et protéger ses équipements ;
 - faciliter et sécuriser la circulation des opérateurs.
 - Les fonctions électriques remplies par le poste électrique en mer sont les suivantes :
 - élever la tension pour réduire les pertes électriques ;
 - protéger le parc éolien des perturbations du réseau terrestre ;
 - assurer le comptage de l'énergie produite ;
 - contrôler et superviser le parc.

4.3.2.2 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS & EQUIPEMENTS

124. La sous-station en mer est composée :
- d'une fondation. Le cas de base se porte sur une fondation de type jacket¹² en acier de 1500 tonnes. La fondation jacket sera fixée par 4 à 8 pieux de 1,50 à 3 mètres de diamètre enfoncés dans le sol jusqu'à une profondeur de 20 à 50 mètres.
 - d'une structure métallique. Celle-ci est composée d'une plateforme, ou superstructure, généralement de quatre étages. La plateforme pèse au total environ 2 000 tonnes.

Caractéristique	Dimensions
Hauteur	20 - 30 m
Longueur	40 - 45 m
Largeur	25 - 30 m
Poids (incluant équipement électrique)	2000 - 24000 tonnes

Tableau 3 : Dimensionnement de la superstructure de la sous-station (source DONG Energy).

125. La plateforme mesurera environ 20 mètres de haut, 40 mètres de long et 25 mètres de large, hors chemins de ronde et autres équipements mineurs. La sous-station peut être composée de 3 à 5 niveaux. A titre indicatif, voici ci-après les différents niveaux composant une plateforme de 4 niveaux sont, de bas en haut :
- le pont de câblage ;
 - le pont principal sur lequel reposent les transformateurs et les principaux équipements électriques de puissance ;
 - le pont mezzanine, où se situent les salles de contrôles ;
 - le pont supérieur.
126. Les principales caractéristiques des aménagements du poste sont les suivantes :
- la structure métallique est conçue pour une durée de vie d'au moins 25 ans selon des solutions déjà éprouvées sur des installations similaires ;

¹¹ MVA : Méga Volt Ampère

¹² En cas de mise en cause de ce choix, une seconde possibilité serait d'utiliser une fondation de type gravitaire

- la plateforme et la structure de la fondation de type jacket sont conçues pour réduire au maximum les mouvements, déformations et vibrations dus au vagues et au vent ;
 - la fondation devrait être équipée de protections de câbles de type J-tube, du fond de la mer jusqu'à la plateforme, pour chaque liaison de raccordement à 225 000 volts et pour chacune des 12 liaisons éoliennes à environ 33 000 volts.
127. La plateforme sera pourvue des appareils mécaniques nécessaires à l'exploitation et à la maintenance tels qu'une grue extérieure.
 128. Le poste est équipé de systèmes divers pour l'information, la communication, la surveillance à distance et le contrôle des paramètres de fonctionnement. Le poste est également signalé par un balisage conforme aux réglementations de l'aviation civile et de la navigation maritime.
 129. Le poste électrique est conçu pour fonctionner de manière autonome (sans présence de personnel sur la structure). Une interface utilisateur est présente dans la salle de contrôle mais la supervision du parc éolien et du poste électrique en mer s'effectue depuis la terre. La plate-forme n'est pour cette raison pas considérée comme habitée.
 130. La grue située à l'extérieur de la plate-forme assure le chargement et déchargement des équipements sur les navires. Elle doit être capable de charger et décharger les éléments sur le pont extérieur ainsi que sur l'aire d'entreposage qui pourrait se situer au niveau du pont principal. Pour donner un ordre de grandeur, la capacité de la grue peut être entre 3 et 10 tonnes de manière à pouvoir charger et décharger d'un navire l'un des transformateurs auxiliaires ou le groupe de secours.

4.3.2.3 SECURITE DES INSTALLATIONS

131. La sous-station, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention suivra les règles et préconisations de classification DNV-OS-J201 spécifique aux sous-stations électriques pour l'éolien en mer.
132. La plateforme est équipée d'un bateau de sauvetage principal pour une évacuation d'urgence et d'un canot de sauvetage gonflables en secours. Un espace est aménagé pour accueillir les équipes d'intervention, dimensionné pour un maximum de 12 membres d'équipage.
133. Ce poste de livraison en mer nécessite des systèmes auxiliaires d'alimentation pour assurer la prévention et l'extinction des incendies, les alimentations de secours en cas de coupure du réseau public de transport d'électricité, ainsi que la supervision et le contrôle-commande de l'installation et le système de comptage. Ceux-ci sont conçus de telle sorte qu'une liaison de raccordement puisse défaillir à tout moment sans conséquence, l'alimentation étant assurée par le groupe électrogène.

4.3.2.4 ACCES

134. L'accès principal s'effectue par bateau à l'aide d'un des deux structures d'accostages (boat landings) sur la fondation. Deux escaliers extérieurs sont installés pour faciliter l'évacuation et la circulation au sein de la plate-forme. Escaliers, couloirs et échappées sont prévus pour répondre aux normes d'évacuation en cas d'incendie. La plate-forme est équipée de moyens d'évacuation de secours maritimes, conformément aux règles du certificateur. Un espace de survie est aménagé pour accueillir les équipes d'intervention en cas de conditions météo-océaniques défavorables les empêchant de quitter le poste en toute sécurité, et est dimensionné pour un maximum de 12 membres d'équipage. Une zone d'hélicoptère est prévue sur le dernier pont de la plate-forme.

4.3.2.5 PREVENTION DE LA POLLUTION

135. Tous les équipements principaux et auxiliaires de la sous-station sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs, 24 heures

sur 24 et 7 jours sur 7, afin de repérer et remédier à toute défaillance, notamment celles pouvant entraîner une pollution.

136. La plateforme est également dotée de systèmes de rétention et de séparation des huiles et des eaux polluées afin de préserver le milieu marin de fuites éventuelles.
137. Les volumes des caisses de réception de liquides présents sur le poste de livraison sont les suivants :

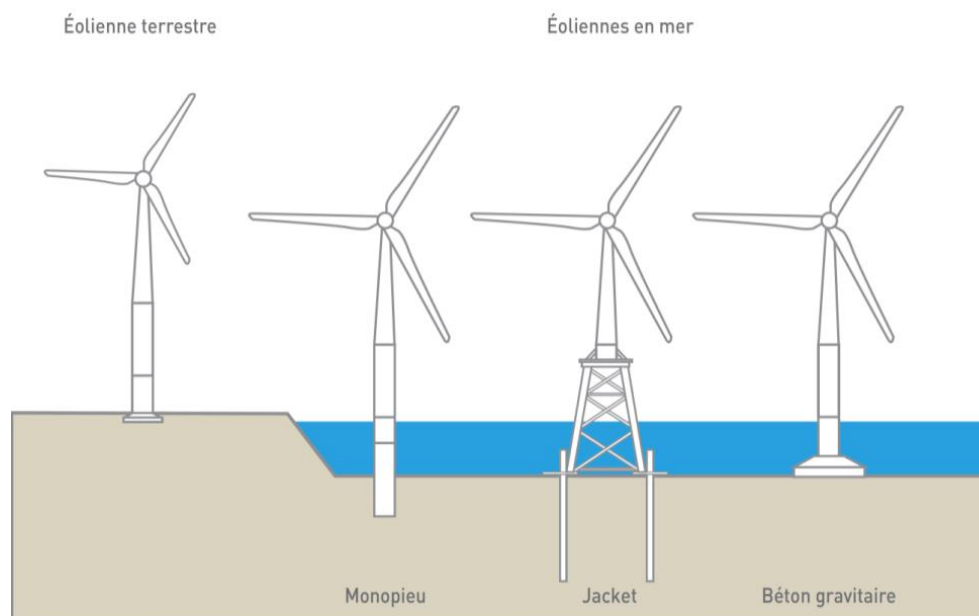
Caisse	Volume
Caisse d'égouttore des transformateurs	200 m3
Caisse de décantation des transformateurs	40 m3
Caisse MGO (Marine Gas Oil) pour le groupe électrogène diesel	40 m3

Tableau 4 : Récapitulatif des volumes de liquides (source EMF).

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

4.3.3 FONDATIONS ET PIÈCES DE TRANSITION DES ÉOLIENNES

139. Chaque éolienne repose sur une fondation, qui en assure le support et la stabilité. Elle doit pouvoir résister aux efforts extrêmes du vent, de la houle et des courants marins. Plusieurs types de fondations peuvent être utilisés : gravitaire, jacket, monopieu, ... Ce choix dépend des caractéristiques de l'éolienne et du site (hauteur d'eau, houle, courant, sol).



Fondation monopieu : constituée d'un pieu en acier de grand diamètre enfoncé à plusieurs dizaines de mètres dans le sous-sol marin.

Fondation gravitaire : constituée d'une structure de béton armé remplie de ballast, posée sur le sol marin et dont la masse permet d'assurer la stabilité des éoliennes.

Fondation jacket : constituée d'une structure tubulaire en treillis métallique reposant sur 4 pieux de faible diamètre ancrés.

Figure 17 : Principaux types de fondation (source EMF).

140. En octobre 2011, les études géotechniques ont conclu à un affleurement rocheux sur la majorité du site et à une importante fracturation de la roche, non identifiée dans les données bibliographiques disponibles pour le site. La solution « jacket » couramment utilisée pour les profondeurs typiques du site du Banc de Guérande est néanmoins apparue industriellement irréalisable du fait de la nécessité de forages multiples (3 à 4) par fondation dans des délais incompatibles avec ceux du projet. La technologie de fondation « monopieu », réalisable d'un point de vue technique et industriel, s'est imposée comme la solution la mieux adaptée pour le site.
141. Ainsi c'est la fondation de type monopieu qui a été retenue pour le parc éolien marin au large de Saint-Nazaire. La fondation « monopieu » d'une éolienne se compose de deux parties : le monopieu qui sera enfoncé dans le sol et la pièce de transition, qui vient coiffer le monopieu. Les monopieux utilisés sont des tubes en acier de 7 m de diamètre environ dont les parois sont épaisses de 50 à 150 mm. Chaque monopieu sera enfoncé d'environ 20 m dans le sol.

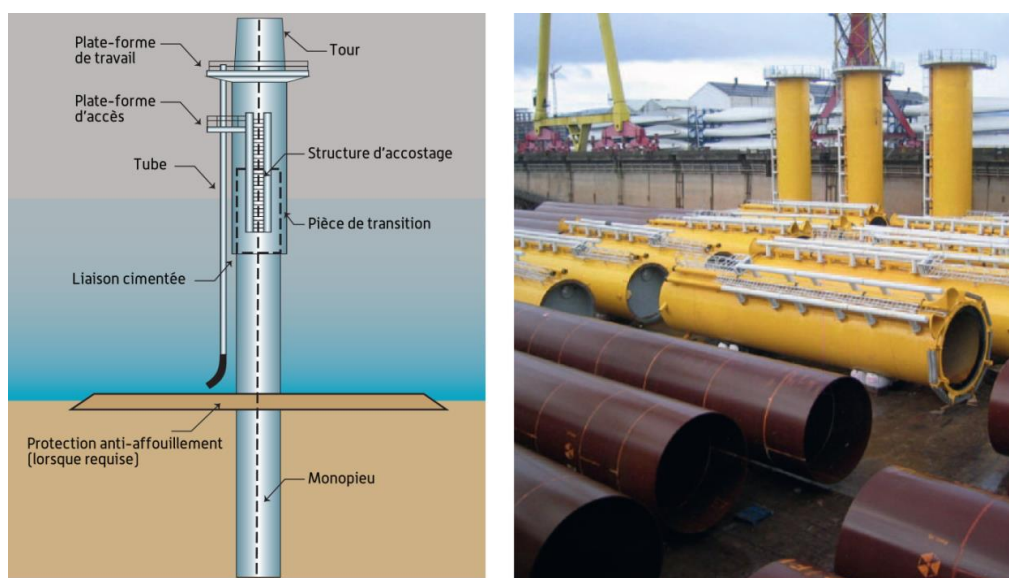


Figure 18 : Monopieux et pièces de transition (Source DONG Energy).

142. Les fondations ne nécessiteront pas de protection anti-affouillement, sauf dans le cas des 5 éoliennes situées à l'extrémité nord-est du parc. Pour ces 5 éoliennes, des protections en remblai de pierre seront implantées autour du monopieu sur un diamètre d'environ 20m et sur environ 2m d'épaisseur.

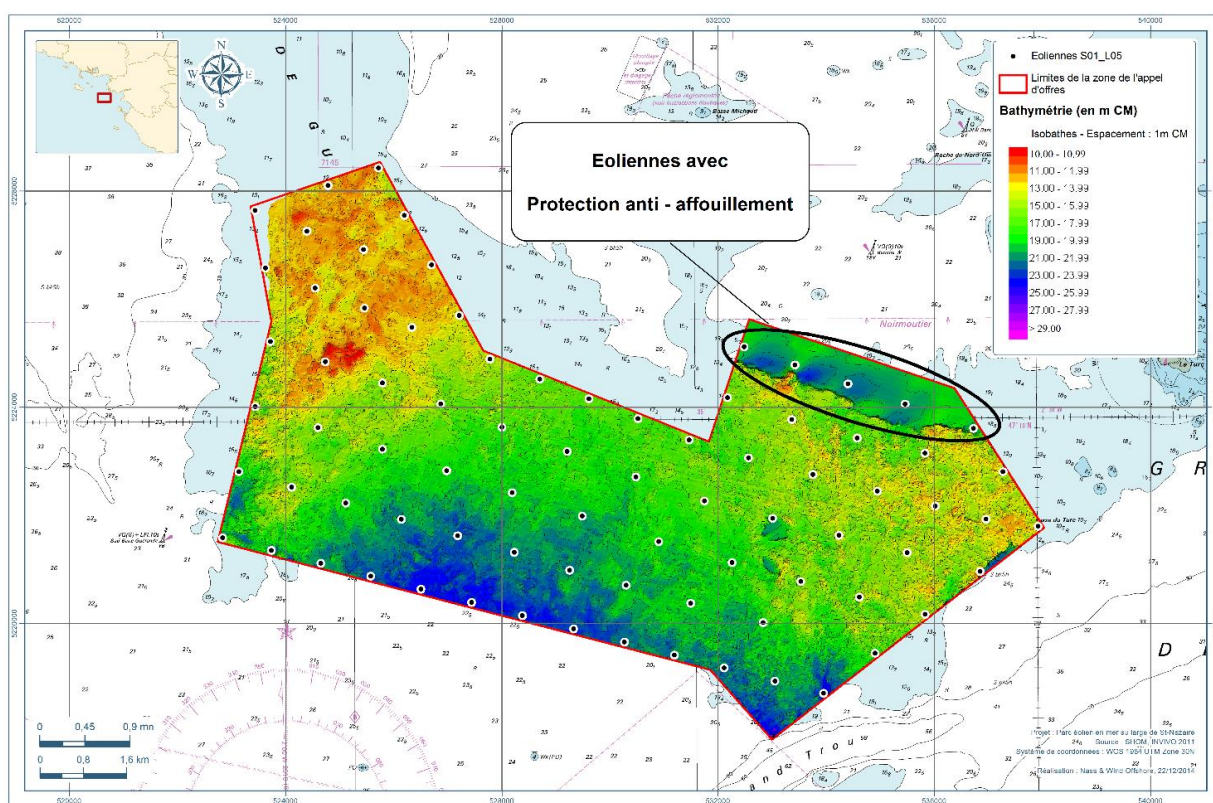


Figure 19 : Localisation des éoliennes avec protections anti-affoulements (source EMF)

143. Le dimensionnement préliminaire des monopieux a été effectué pour les profondeurs d'eau extrêmes du site. Ces dimensions sont présentées dans le tableau suivant. La cote marine correspond à celle du port de Saint Nazaire.

Tableau 5 : Caractéristiques générales des fondations (source EMF).

Élément caractéristique	Dimension
Hauteur de la plateforme de travail (face supérieure de la plateforme)	25,5 m CM
« Splash-zone » élévation haute	+ 12,4 m CM
« Splash-zone » élévation basse	+0,85 m CM
Hauteur d'accès à l'éolienne	28,1 m CM
Hauteur du moyeu	109,6 m CM
Forme et diamètre du monopieu	cylindrique d'environ 7 m de diamètre environ
Forme et diamètre de la pièce de transition	cylindrique d'environ 6,5 m de diamètre
Diamètre de la plate-forme de travail	Environ 10 m (avec une extension en encorbellement d'un côté)
Pénétration dans le sol	Environ 20 m
Présence d'une protection anti-affoulement	Non requise sur 95 % du site

144. La hauteur de la plateforme de travail est conditionnée par les conditions d'agitation du site. La vague de dimensionnement (marée haute exceptionnelle associée à une surcote de tempête) doit passer, avec un tirant d'air suffisant, sous la plateforme. Sur le site de Saint-Nazaire, la cote de la plateforme de travail est actuellement fixée à 25,5m CM.
145. Le tableau ci-dessous précise les caractéristiques de la fondation localisée à la hauteur d'eau la plus importante du site d'implantation. La pièce de transition est cimentée au monopieu (une solution alternative par boulonnage est également envisagée). Le mât de l'éolienne est boulonné à la pièce de transition.

Caractéristique	Dimension
Épaisseur du monopieu (mm)	100-150 (pour le sabot de battage)
Épaisseur de la pièce de transition (mm)	50-120
Masse d'acier pour le monopieu (tonnes)	790
Masse d'acier pour la pièce de transition (tonnes)	500
Volume de ciment (liaison monopieu / pièce de transition) (m3)	30

Tableau 6 : Caractéristiques de la fondation implantée -22m CM (source Parc du Banc de Guérande).

146. La pièce de transition comporte également un ensemble d'éléments, dont certains sont présentés ci-dessous :
- une plateforme de travail, accueillant l'ensemble des éléments nécessaires au fonctionnement et à la sécurité de l'éolienne (accès, treuil, équipements d'aide à la navigation, barrières,...) ;
 - une plateforme intermédiaire, palier au niveau duquel les opérateurs peuvent se reposer lors de l'accès à la plateforme de travail depuis la structure d'accostage ;
 - une structure d'accostage permettant aux opérateurs d'accéder à l'éolienne et d'assurer des transferts de matériel entre celle-ci et le navire d'opération et de maintenance ;
 - des plateformes à l'intérieur de la pièce de transition qui permettent d'installer les terminaisons de câbles, le boulonnage du pied de mât de l'éolienne puis, en phase d'exploitation, d'inspecter la fondation ;
 - un ou plusieurs dispositifs pour la mise en place et la protection du câble (type J-Tubes ou équivalent) ;
 - une protection passive de la partie immergée via plusieurs anodes sacrificielles, représentant environ 12 tonnes de matériel par éolienne ;
 - une peinture spécifique anticorrosion jaune appliquée sur les parties partiellement immergées et émergées des fondations.

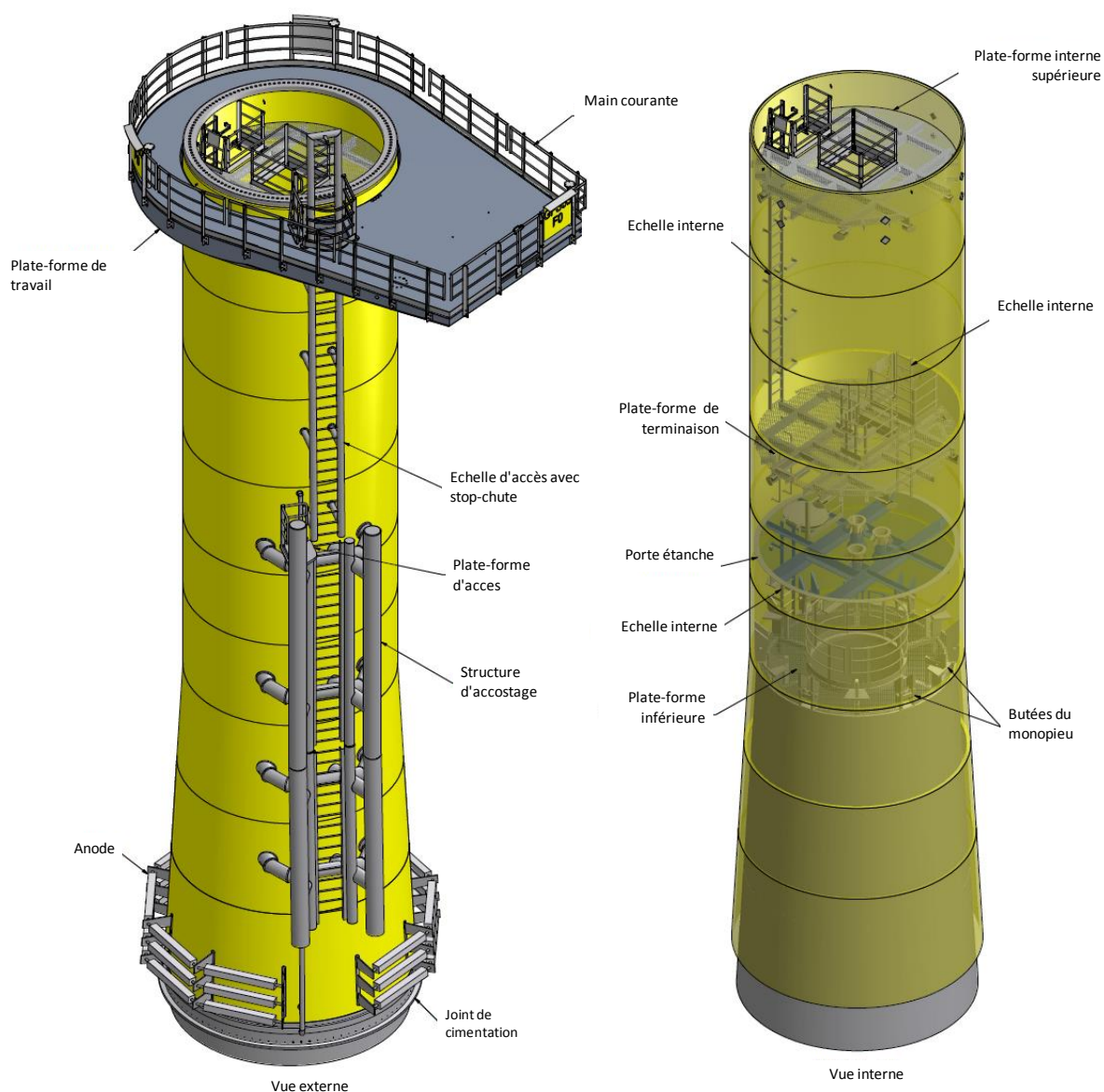


Figure 20 : Exemple d'une pièce de transition – Walney (source DONG Energy).

147. Les anodes sacrificielles seront placées sur les structures immergées :

- à l'extérieur de la fondation, une partie des anodes sera fixée sur la pièce de transition ; l'autre partie sera montée en bracelet autour du monopieu ;
- à l'intérieur de la fondation, les anodes seront suspendues depuis la plateforme interne, réparties sur 3-4 niveaux.

148. Ces anodes seront constituées d'un alliage d'aluminium. Elles auront une durée de vie de l'ordre de 25 ans. Chaque fondation sera équipée d'environ 12 tonnes d'anodes en alliage d'aluminium (soit environ 24 anodes de 500 kg pour chaque fondation). Il s'agit d'une hypothèse conservatrice, valable lorsque la bathymétrie est importante.

149. A la fin de leur vie, il reste environ 15% de la masse initiale des anodes non dégradée.

4.3.4 EOLIENNES

4.3.4.1 DIMENSIONS

150. L'éolienne proposée pour le projet est une Alstom Haliade 150-6MW de nouvelle génération, dotée d'un rotor de 150 m de diamètre.

Puissance électrique unitaire	6 mégawatts
Diamètre du rotor	150 mètres
Hauteur en bout de pale	184,3 mètres CM

Tableau 7 : Principales caractéristiques de l'éolienne (source Alstom).

4.3.4.2 TEINTE

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

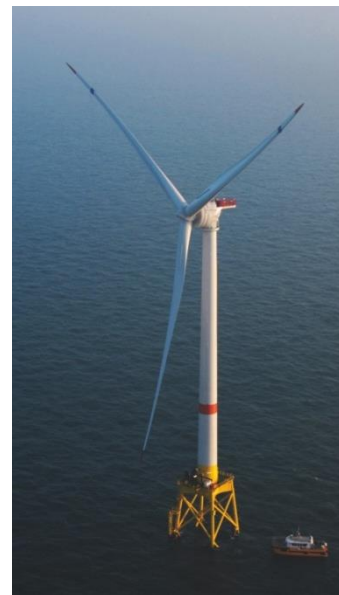


Figure 21 : Haliade 6MW en mer du Nord (source Alstom).

4.3.4.3 MÂT

152. Le mât de l'éolienne Alstom Haliade est tubulaire à section conique. Il est constitué d'un acier traité et recouvert d'un revêtement spécifique afin de résister à l'air marin durant toute la durée de vie du parc. Les mâts en acier présentent l'avantage de pouvoir être changés aisément et sont facilement recyclables en fin de vie.
153. Le mât de l'éolienne Alstom Haliade 150-6 MW contient :
- des structures secondaires internes : plateformes, échelles, monte-charge ;
 - des équipements électriques : câbles, transformateur, cellules, convertisseur ;
 - des équipements de sécurité : éclairage, extincteurs.
154. La tour conique en acier est divisée en trois tronçons T1, T2, T3 dont les caractéristiques principales sont indiquées dans le tableau ci-dessous. La hauteur totale du mât est de 73 m, une fois monté sur la fondation il porte le moyeu à une hauteur de 109 mètres CM. Les sections de tour sont assemblées au moyen de brides boulonnées. Ainsi l'éolienne aura une hauteur maximale en bout de pale de 184 mètres CM.

4.3.4.4 NACELLE

155. L'éolienne Alstom Haliade 150-6 MW dispose d'une nacelle entièrement équipée (grue, plateforme d'hélicoptère...) et très fonctionnelle. Les opérations de maintenance sont facilitées et sécurisées grâce à une excellente accessibilité de ses composants.
156. Actuellement, les dimensions maximales de la nacelle sont 19,6m x 7,7m x 8,2m (longueur x largeur x hauteur), comprenant le moyeu. Son poids avoisine 365 tonnes. La nacelle contient :
- des éléments structurels : châssis, couplage du rotor, roulements ;
 - des composants électromécaniques : génératrice, système d'orientation au vent, système d'ajustement des pales,
 - des éléments de sécurité : éclairage, extincteurs, freins.

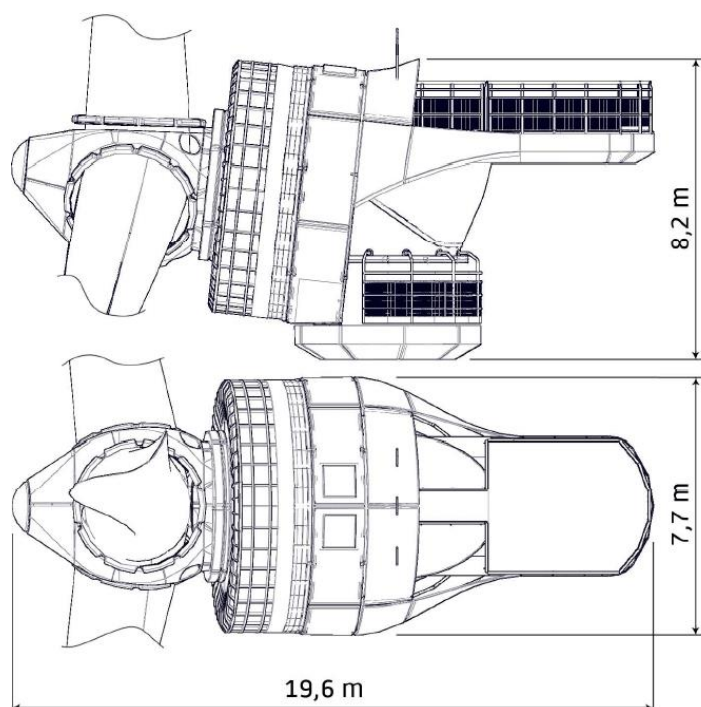


Figure 22 : Vues de profil et de dessus de la nacelle de l'Haliade 150 (source Alstom).

4.3.4.5 GÉNÉRATRICE & ROTOR

157. L'éolienne Alstom Haliade 150-6 MW ne comporte pas de multiplicateur. Sa génératrice utilise une technologie à aimants permanents et à entraînement direct, appelée « Direct Drive ». Cela permet de diminuer le nombre de pièces en rotation et de réduire ainsi la fréquence des opérations de maintenance tout en augmentant la durée de vie de la turbine.
158. Le rotor est constitué de 3 pales fabriquées en matériaux composites. Les pales font 73,5m de long, 4,5m au plus large et 28,6 tonnes chacune. Le diamètre total du rotor est aujourd'hui de 150 m et balaye une surface d'environ 17 500 m². Son centre de rotation se situe à une hauteur de 100 m.



Figure 23 : Pales de l'éolienne Haliade 150 avant installation (source Alstom).

159. Les éoliennes sont dimensionnées pour commencer à tourner à partir de 3 m/s de vent, soit 11 km/h. Elles fonctionnent à pleine puissance à partir de 12 m/s, soit 45 km/h. Il est prévu que celles-ci arrêtent de tourner à partir de 25 m/s en moyenne pendant 10 minutes. Les pales pivotent sur leur axe afin d'opposer une moindre résistance au vent, elles s'arrêtent donc de tourner. La vitesse de rotation du rotor est de 11,5 tours par minute soit 90 m/s (324 km/h) en bout de pale. Un anémomètre fixé sur la nacelle mesure en permanence la force du vent. L'inclinaison de l'axe du rotor est de 6° afin d'éloigner le point bas de la pale du mât.

160. Contrairement à la plupart des éoliennes actuelles, la technologie de l'Haliade 150-6 MW n'utilise pas de multiplicateur entre la génératrice et le rotor. Elle bénéficie de la technologie Pure Torque consistant à transmettre au mât, par l'intermédiaire du châssis de la nacelle, les efforts secondaires parasites qui pourraient solliciter le rotor. En effet, une boîte de vitesse constitue un lien rigide tandis que le concept Pure Torque constitue un lien élastique entre la génératrice et le rotor. Cela protège la ligne de transmission et les composants des charges de flexion, permettant ainsi de réduire les coûts et de garantir un niveau élevé de fiabilité.

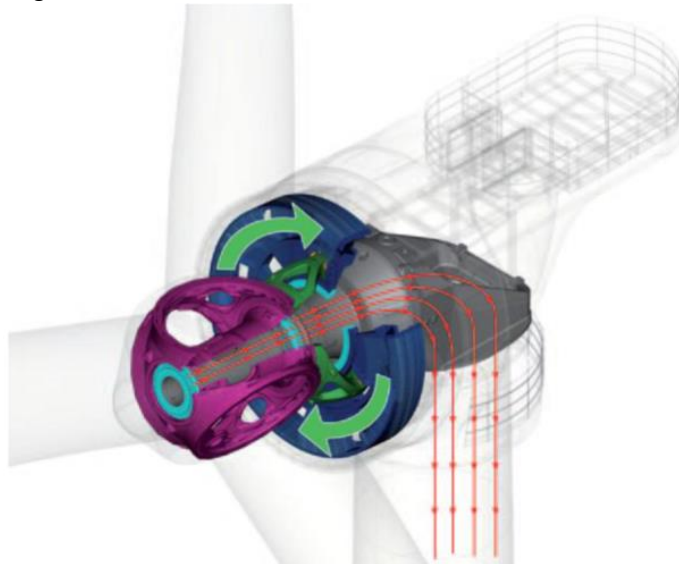
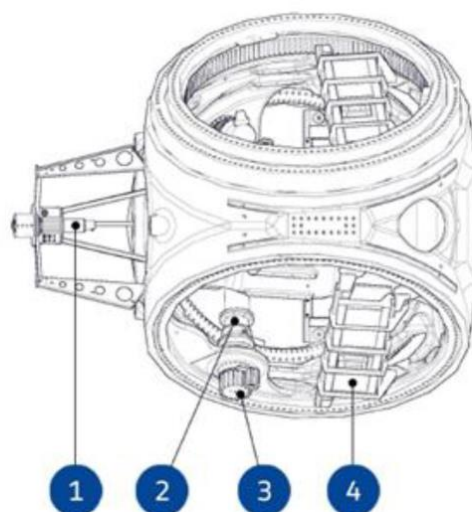


Figure 24 : Concept "Pure Torque" (source Alstom)

4.3.4.6 SYSTEME DE CONTRÔLE-COMMANDE

161. L'éolienne Alstom Haliade 6 MW dispose d'un système de contrôle et de supervision constitué d'un ensemble de capteurs généralement redondants, de composants électroniques, de calculateurs et d'une infrastructure de transmission, de traitement et de présentation des données opérationnelles de l'éolienne. Ce système collecte les informations concernant le parc et la met à disposition du personnel responsable de l'exploitation. Il fournit simultanément des données en temps réel et des données archivées.
162. Le système de contrôle-commande permet également d'effectuer les principales opérations sur le parc éolien, à distance, ainsi que le contrôle proprement dit du parc depuis les bâtiments d'exploitation à l'aide des moyens de communication des données. Il permet de se connecter à distance aux systèmes d'orientation des pales et de la nacelle, au convertisseur, et au système de mesure vibratoire. Enfin, il supervise l'ensemble du parc éolien en mer et fournit des images des conditions météorologiques à terre et en mer.



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 bague collectrice | 3 système d'orientation des pales |
| 2 moteur d'orientation des pales | 4 régulateur du système d'orientation |

Figure 25 : Système de contrôle de l'orientation des pales de l'Haliade 6 MW (source Alstom).

4.3.5 CABLAGE INTER-EOLIEN

163. Le réseau électrique inter-éolien a pour rôle de relier électriquement les aérogénérateurs à la sous-station en mer par l'intermédiaire de câbles sous-marins. Ce réseau contient également les fibres optiques nécessaires à la transmission d'informations au sein du parc éolien. Afin d'optimiser les coûts, d'assurer les meilleures conditions de sécurité, en particulier pour l'activité de pêche, et de limiter l'impact environnemental lié à l'installation des câbles. Les éoliennes seront reliées à la sous-station par 12 grappes de 6 à 7 éoliennes.
164. Le câblage inter-éolien est estimé à environ 120 kilomètres. Il est prévu d'utiliser deux sections de câbles :
- 240 mm² : 48 câbles pour approximativement 65,1 km pour un diamètre extérieur du câble d'environ 11 cm ;
 - 630 mm² : 32 câbles pour approximativement 54,1 km pour un diamètre extérieur du câble d'environ 15 cm.
165. Chaque câble est constitué de trois conducteurs en aluminium ou en cuivre, disposés en hélice, chacun gainé par un matériau hautement isolant, le polyéthylène réticulé (XLPE), permettant une utilisation jusqu'à un niveau de tension de 36kV. Une armure extérieure constituée notamment d'une tresse en acier galvanisé, servant à protéger le câble, regroupe les trois conducteurs et un faisceau de fibres optiques pour former un câble d'un seul tenant.
166. Les câbles utilisés seront certifiés et dimensionnés selon les normes et réglementations en vigueur, en particulier :
- la norme IEC 60502-2, concernant les câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV ($U_m = 1,2 \text{ kV}$) à 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$) ;
 - la norme IEC 60228, concernant les âmes des câbles isolés ;
 - la norme IEC 60287, concernant le calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent.

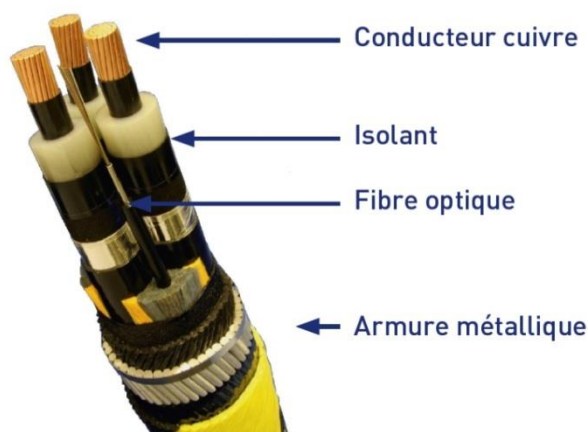


Figure 26 : Description générale d'un câble (source Draka).

4.3.6 RACCORDEMENT AU RESEAU PUBLIC

4.3.6.1 LIAISON SOUS-MARINE

167. La liaison sous-marine, dont le point de départ est le poste électrique en mer sur le Banc de Guérande, sera d'une longueur d'environ 33 km. Les trois conducteurs de chaque circuit sont réunis en un seul et même câble dénommé « câble tripolaire ». Il intègre un à deux câbles de télécommunication à fibres optiques sous son armure.
168. La liaison est composée de deux câbles tripolaires. Le diamètre de ces câbles sera de l'ordre de 25 à 27 cm et leur poids d'environ 130 kg au mètre linéaire. Leurs caractéristiques sont précisées sur le schéma ci-dessous.

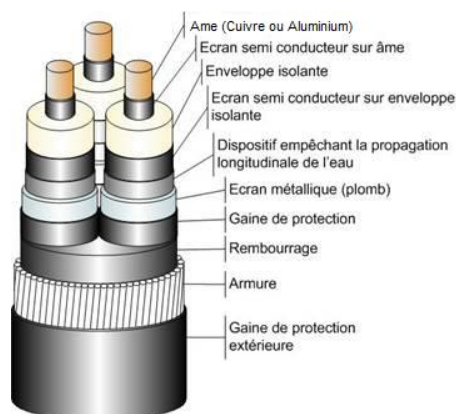


Figure 27 : Exemple d'un câble tripolaire sous-marin

4.3.6.2 CONTINUITÉ ENTRE CÂBLES SOUS-MARINS ET SOUTERRAINS

169. Les jonctions entre câbles sous-marins et câbles souterrains seront réalisées dans deux ouvrages (un par circuit) maçonnés et enterrés, de dimensions approximatives : 16m (L) x 3m (l) x 1m (H).
170. La profondeur au-dessus des ouvrages sera d'environ 2,5 m.

4.3.6.3 LIAISON SOUTERRAINE

171. La longueur de la liaison souterraine est de 28 km environ, entre les chambres d'atterrage mises en place sur La Courance, commune de Saint-Nazaire, et l'emplacement du poste de raccordement à créer, sur la commune de Prinquiau.
172. Pour la liaison souterraine, chaque circuit est composé de trois câbles unipolaires indépendants. Ils sont accompagnés d'un à deux câbles de télécommunications à fibres optiques.
173. Les câbles comprennent une âme conductrice en aluminium ou en cuivre entourée d'isolant synthétique et d'écrans de protection.
174. Le diamètre de ces câbles est d'environ 13 cm.

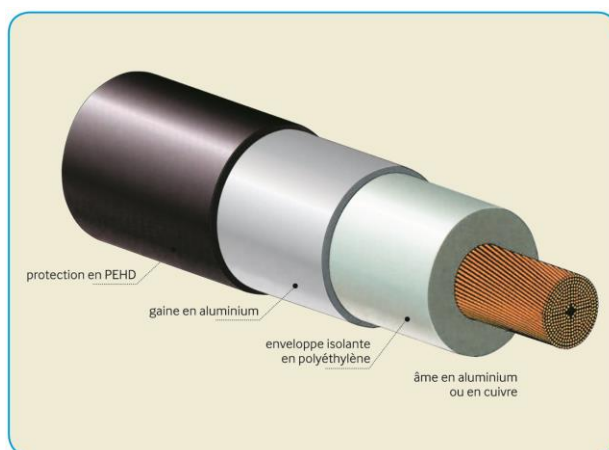


Figure 28 : Exemple de structure d'un câble unipolaire souterrain

4.3.6.4 POSTE A TERRE

175. Le poste électrique 225 000 volts à créer permettra le raccordement entre la liaison décrite précédemment et deux lignes aériennes situées à proximité.
176. A l'intérieur d'un espace clôturé, il comprendra un bâtiment principal abritant différents appareillages électriques (disjoncteurs, sectionneur ...) permettant de connecter ou de déconnecter chaque liaison au reste du réseau.
177. Seront également installés dans ce poste des appareils permettant de régler la tension sur la liaison sous-marine et souterraine, appelés «survolteur-dévolteur» ainsi que des matériels permettant de compenser l'effet dit « capacitif » des câbles sous-marins et souterrains, appelés «bobine inductance shunt».
178. Un deuxième bâtiment (accolé au premier) abritera des matériels électroniques de contrôle et de commande de ces installations.
179. Des aménagements paysagers sont prévus pour favoriser l'insertion paysagère de ces installations.
180. Le poste à créer aura une emprise d'environ 5 hectares (y compris les aménagements paysagers).



Figure 29 : Projet de poste de raccordement 225 000 volts

181. En complément des principales installations décrites ci-avant, l'opération prévoit la création de voies d'accès, de cheminements piétons et d'une plateforme pour asseoir le poste. Un réseau de collecte et de stockage des eaux pluviales du bassin versant intercepté sera mis en place.

4.3.7 OUVRAGES CONNEXES

4.3.7.1 RACCORDEMENT AMONT

182. Comme déjà précisé, le raccordement entre le poste et les lignes aériennes 225 000 volts existantes (CORDEMAIS - PONTCHATEAU 2 et CORDEMAIS - POTEAU ROUGE) se fera par deux liaisons souterraines doubles. Leur raccordement sur les lignes existantes nécessitera le remplacement ou l'adaptation de quelques pylônes (pylône aérosouterrain) pour accueillir les jonctions entre câbles souterrains et câbles aériens.



Figure 30 : Exemple de pylône aérosouterrain

4.3.7.2 SITE DE PREASSEMBLAGE SUR LE PORT DE SAINT-NAZAIRE

183. La construction du parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire requiert au minimum 4 ans de travaux, prévus de 2016 à 2019, dont 2 ans de travaux en mer. Ces travaux en mer nécessitent des infrastructures et des moyens adaptés à la filière EMR. Les différentes composantes d'un parc éolien (fondations, éoliennes elles-mêmes composées d'un mât en plusieurs sections, d'une nacelle et d'un rotor de trois pales) sont des pièces lourdes et de grandes dimensions. Les sites existants identifiés pour les fabriquer, les assembler et les stocker nécessiteront probablement des adaptations.
184. Le pré-assemblage à terre, notamment des tronçons du mât, permet de limiter les opérations de construction en mer. Une fois les aménagements nécessaires réalisés, les opérations de pré-assemblage seront réalisées sur le port de Saint-Nazaire.
185. Le maître d'ouvrage a réservé une surface de 12 ha à côté de la Forme Joubert ainsi que deux autres zones de respectivement 1,7 ha au niveau du Quai de la Prise d'Eau et de 1,4 ha au niveau du Quai des Charbonniers comme indiqué sur la figure ci-dessous.
186. Les opérations sur le port d'assemblage des composantes du parc éolien consisteront à recevoir ces composantes, les stocker, les tester et les assembler, puis les transporter et les installer en mer.



Figure 31 : Implantation de la base logistique sur le port de Saint-Nazaire (source EMF).

187. Cette base logistique sera équipée de moyens de manutention tels que des grues, des chariots élévateurs, des ponts roulants, des équipements de transformation et d'assemblage d'acier (roulage, coupage, soudage...).



Figure 32 : Modélisation de la base logistique du Port de Belfast (source DONG Energy).

4.3.7.3 SITE DE FABRICATION DES FONDATIONS

188. Le maître d'ouvrage travaille avec le syndicat mixte en charge de la gestion du port de Cherbourg, Ports Normands Associés (PNA) sur les possibilités d'implantation d'une usine de fabrication des fondations, au cas où le fournisseur qui sera désigné à l'issue de l'appel d'offres européen qui sera lancé par le maître d'ouvrage, souhaiterait s'installer sur le port. Il n'est pas possible à l'heure actuelle de préjuger des résultats de cet appel d'offres et donc de la localisation de l'usine de fabrication des fondations.

4.3.7.4 BASE DE MAINTENANCE

189. Le choix des ports d'exploitation et de maintenance est déterminé principalement par des critères liés aux facilités d'accès maritimes : la proximité du parc et la hauteur d'eau compatible à toute heure avec l'usage de navires de maintenance.
190. Le port d'exploitation et de maintenance retenu présentera donc l'avantage de la proximité (environ 12 milles nautiques), tout en offrant une zone abritée accessible à toute heure pour un navire de maintenance de 2 mètres de tirant d'eau, et une longueur de quai compatible avec l'accueil simultané sur ponton de 3 navires dédiés à l'exploitation du parc éolien en mer.

4.4 MODALITES D'INSTALLATION

191. L'installation et la mise en service de l'ensemble des éléments d'un parc éolien en mer (fondations, éoliennes, poste électrique en mer et câbles) requièrent des équipements spécifiques, dont des moyens nautiques tels que des navires autoélévateurs, des navires de pose et d'ensouillage de câbles électriques, des navires avec des capacités de levage de plusieurs milliers de tonnes. Des petits navires de transport de personnel sont également nécessaires dès le démarrage du chantier.
192. Pendant la phase de construction, la zone de travaux sera balisée conformément aux règles de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM). Une information aéronautique spécifique sera mise en place pour signaler la présence des structures en cours d'installation. Le balisage aérien du parc éolien sera conforme aux réglementations et recommandations en vigueur.

4.4.1 SOUS-STATION EN MER

193. La fondation jacket¹³ 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.
194. Cette installation sera effectuée sur une durée de 15 à 20 jours en fonction des conditions météorologiques.

Types et nombre de navires d'installation utilisés	Jusqu'à 3 navires : - navires jack-up autopropulsés - ou barges jack-up tractées par des remorqueurs - ou barges « sheer leg » autopropulsées ou tractées par des remorqueurs - ou navires de transport lourd (HLV : heavy-lift vessel) flottant ou ancrés
Types et nombre de navires de support utilisés	Jusqu'à 12 navires : - 6 remorqueurs - 3 navires de support divers - 2 navires d'équipages
Types et nombre de navires	Jusqu'à 2 barges
Durée totale des travaux d'installation	15 à 20 jours, mi 2018 (juste avant la pose du premier câble RTE)

Tableau 8 : Navires nécessaires pour l'installation de la sous-station (source DONG Energy).

¹³ Une fondation de type gravitaire est peu probable mais pas complètement écartée à ce jour.

4.4.1.1 INSTALLATION DE LA FONDATION

195. 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.
196. 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.

4.4.1.1.1 EN CAS DE BATTAGE ET FORAGE

197. Le marteau hydraulique est mis en position et le battage du pieu peut commencer. Le pieu est battu jusqu'à la profondeur désirée ou jusqu'à la profondeur de refus. Si le pieu atteint la profondeur de refus avant la profondeur désirée, les équipements de forage sont installés dans le pieu et le forage s'effectue jusqu'à la profondeur cible. Le diamètre de forage est, dans ce cas, légèrement inférieur au diamètre du pieu. Généralement le forage s'effectue à l'eau de mer et un système de circulation inverse est utilisé pour ramener en surface les débris de forage. Une fois le forage terminé, le pieu est battu jusqu'à la profondeur requise, l'anneau de roche sous le pieu étant alors cassé lors du battage. Si la roche est très fracturée, la longueur des passes est réduite afin d'éviter que les parois du trou ne s'effondrent entre le forage et le battage du pieu.

4.4.1.1.2 EN CAS DE FORAGE SEUL

198. Dans des cas très particuliers de roche très dure ou très fracturée, une tête de forage équipée de molettes escamotables peut forer sous le pieu, avec un diamètre égal ou légèrement supérieur au diamètre externe du pieu. L'utilisation d'un mortier pour figer le pieu peut être nécessaire, d'un volume de l'ordre 60m³. Généralement le forage s'effectue à l'eau de mer et un système de circulation inverse est utilisé pour ramener en surface les débris de forage.



Figure 33 : Tête de forage et guide (source DONG Energy).

4.4.1.2 INSTALLATION DE LA SUPERSTRUCTURE

199. 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.



Figure 34 : Installation d'une sous-station (source DONG Energy).

4.4.2 FONDATIONS ET PIÈCES DE TRANSITION DES EOLIENNES

4.4.2.1 TRANSPORT

200. Les fondations monopieux sont constituées de deux parties distinctes : le monopieu et la pièce de transition. Les navires utilisés pour leur transport et leur installation seront des navires jack-up de seconde génération, capables d'opérer avec une hauteur significative de vagues d'environ 2,5m.
201. Le transport des fondations monopieux consiste à charger les monopieux sur un navire jack-up possédant la capacité de levage requise. Les navires seront chargés d'au moins 3 monopieux et des équipements nécessaires à leur installation. Cela comprend les éléments suivants :
- les équipements d'amarrage pour la sécurisation à la mer des fondations ;
 - les appareils de levage (manille, élingue, pince de levage...) ;
 - le marteau hydraulique ou/et la foreuse, leur groupe hydraulique, leurs flexibles d'alimentation et l'enrouleur/tensionneur à flexibles, ainsi que les pièces de rechanges ;
 - les guides des pieux ;
 - l'équipement de basculement des pieux ;
 - les équipements nécessaires pour la cimentation entre le monopieu et la pièce de transition (opération pouvant être réalisée à partir d'un navire séparé) ;
 - les équipements d'inspection du fond de la mer (type ROV "Remotely Operated Vehicle" (véhicule téléguidé)) ;
 - des marteaux hydrauliques jusqu'à environ 4000 kJ de puissance avec des casques adaptés au diamètre des monopieux.

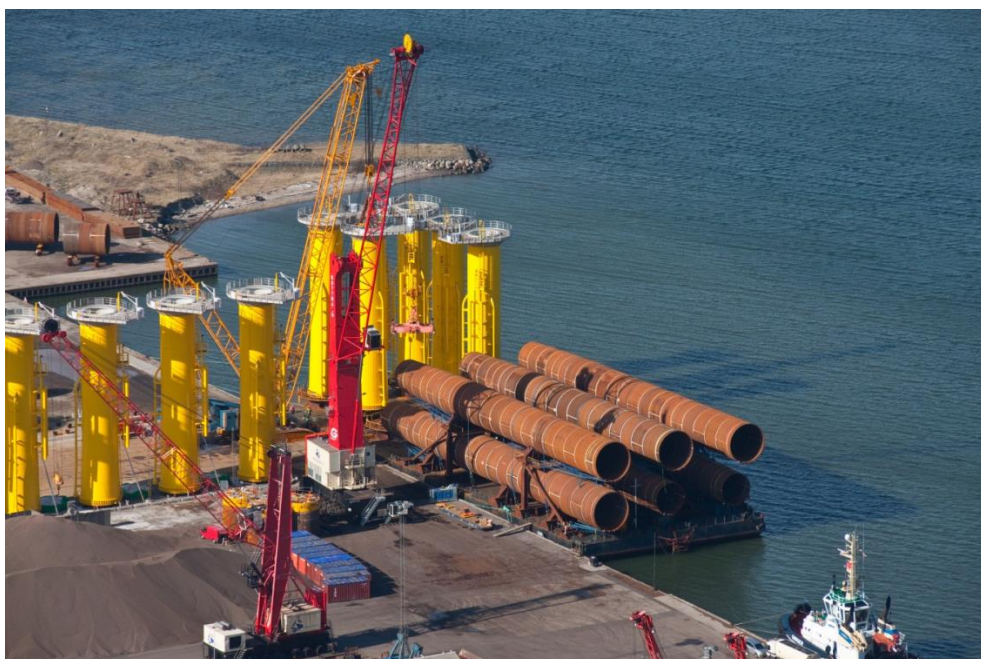


Figure 35 : Monopieux placés sur barge (source DONG Energy).

4.4.2.2 MODES OPERATOIRES D'INSTALLATION

4.4.2.2.1 PROCESSUS D'INSTALLATION D'UN MONOPIEU

202. 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 36 : Descente du monopieu dans son guide (source DONG Energy).

203. 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
204. 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. Cependant les premières informations issues des campagnes géophysiques et géotechniques déjà réalisées, permettent de considérer que 40 fondations seront installées par battage-forage-battage et 40 autres par battage seul.

Type et nombre de bateaux d'installation	Jusqu'à 4 navires : navires auto-élévateurs barges auto-élevatrices navires de transport lourd
Type et nombre de bateaux support utilisés	Jusqu'à 16 navires support : 10 remorqueurs 2 bateaux d'équipage 2 navires de forage 2 bateaux de sécurité
Type et nombres de navires de transport utilisés	Jusqu'à 10 barges de transport dédiées, soutenues par 3 remorqueurs au maximum
Nombre d'installations simultanées	2 installations simultanées
Durée totale de l'installation	6 à 24 mois

Tableau 9 : Navires et description de l'installation des fondations (source DONG Energy).

4.4.2.2 BATTAGE

205. Une fois le monopieu en place, le marteau hydraulique est alors mis en position au-dessus du monopieu et le battage du pieu peut commencer. Le pieu est battu jusqu'à la profondeur désirée.

4.4.2.3 BATTAGE-FORAGE-BATTAGE

206. Les opérations de battage-forage-battage consistent à :
- battre le pieu jusqu'à la profondeur de refus ;
 - forer à l'intérieur du pieu, avec un diamètre de 5m pour dépasser la zone de refus ;
 - battre de nouveau le pieu jusqu'à l'atteinte de la profondeur finale.
207. Pour la partie forage, la majorité de la granulométrie du matériau extrait sera comprise entre 1mm et 130mm.

4.4.2.4 RESIDUS DE FORAGE

208. Dans le cas d'un battage-forage-battage, le forage s'effectuera à l'eau de mer, avec un dispositif faisant remonter en surface les résidus de forage qui sont redéposés directement au pied des fondations, par un système permettant un rejet dirigé,
209. Dans le cas d'un forage (diamètre 5m) sur toute la profondeur d'enfoncement du monopieu (20m) lors de la séquence battage forage, le volume maximal de matériaux serait donc de 392m³ de résidus par forage dont 5 à 10% de fines et 95% à 90% de résidus allant de 1 à 130mm

4.4.2.3 PROCESSUS D'INSTALLATION DES PIÈCES DE TRANSITION

210. La pièce de transition est un cylindre similaire au monopieu mais plus court et de diamètre légèrement supérieur, sur lequel sont installées une échelle d'accès équipée de guides d'accostage et une plateforme métallique. Chaque pièce de transition sera cimentée ou boulonnée à un monopieu, et le mât de l'éolienne sera boulonné à celle-ci.
211. L'installation des pièces de transition se fera depuis un navire équipé d'une grue à grande capacité de levage.
212. 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 37 : Mise à l'eau de la pièce de transition (source DONG Energy).

213. Une fois la cimentation effectuée et après quelques heures de séchage, des inspecteurs vérifient le positionnement de la pièce de transition par rapport au monopieu et la verticalité de l'ensemble. Il s'agit en effet d'une condition importante pour la garantie des performances de l'aérogénérateur qui sera installé. Un échantillonnage et des tests permettent de s'assurer de la qualité de la cimentation.

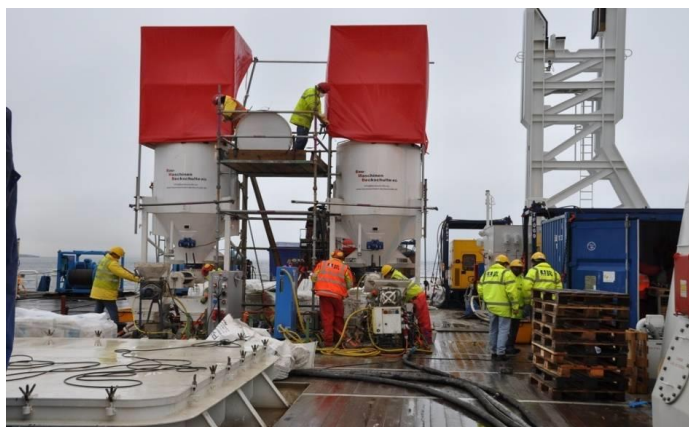


Figure 38 : Atelier de cimentation offshore (source DONG Energy).

4.4.3 EOLIENNES

4.4.3.1 TRANSPORT DES ELEMENTS D'UNE EOLIENNE

214. Les aérogénérateurs seront pré-assemblés au port logistique et acheminés probablement selon le schéma suivant :
- la génératrice avec une pale montée sur le sous-ensemble rotor-nacelle et deux pales séparées ;
 - la tour en 2 sections : la section basse T1 et la section haute réunissant les fractions T2 et T3.
215. Les navires utilisés auront une capacité de transport de 4 aérogénérateurs. Actuellement, il s'agit de la capacité maximale des navires d'installation. Ces navires seront équipés d'une grue de grande capacité de levage (1 200 à 1 500 tonnes), autorisant une certaine flexibilité dans le positionnement du navire lors du chargement et des opérations d'installation.



Figure 39 : Chargement d'aérogénérateurs à quai (source DONG Energy).

216. Le chargement des aérogénérateurs se fera soit à l'aide de la grue du navire en LoLo (« Lift on/ Lift off » (levage)) soit à l'aide de moyens RoRo (« Roll-On, Roll-Off » (roulier)) suivants les moyens et les facilités d'accès au navire disponibles.



Figure 40 : Navire HGO Innovation en mode navigation et en mode élevé (source HGO).

4.4.3.2 MODES OPERATOIRES D'INSTALLATION

217. 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.
218. 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.
219. 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. De fait, un outil spécifique ayant une capacité de 165 tonnes a été développé par Bard Engineering et construit par Gusto MSC.



Figure 41 : Outil de basculement du rotor, de 165 t de capacité (source Gusto MSC).



Figure 42 : Navire d'installation après montage d'un aérogénérateur (source A2SEA).

220. 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 autoélévatrice vers le point d'installation suivant.
221. 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.

4.4.4 CABLAGE INTER-EOLIENNES

4.4.4.1 TRANSPORT

222. Les câbles inter-éoliennes seront transportés et installés à partir d'un navire câblé ; les deux grands types d'installation se font à partir :
 - d'un navire câblé ayant une capacité importante de chargement (cuve fixe ou carrousel),
 - ou d'un navire sur lequel sont chargés des tourets de câbles.
223. Dans le cas du stockage sur touret, celui-ci peut stocker jusqu'à 2km de câble, la configuration la plus courante est d'avoir un ou deux câbles inter-éoliens sur un seul touret. Les tourets seront d'abord transportés du quai de l'usine jusqu'à une aire de stockage près de la base logistique du projet. C'est à partir de cette aire de stockage que le navire viendra, dès que nécessaire, charger de nouveaux câbles pour les installer.



Figure 43 : Barge équipée d'un carrousel (source DONG Energy).

4.4.4.2 MODES OPERATOIRES D'INSTALLATION

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

Type de navires de pose des câbles	barges ou navires à positionnement dynamique + remorqueurs pour l'ancrage (pour les barges)
Type et nombre de navires d'ensouillage des câbles	3 barges + 3 remorqueurs pour l'ancrage ou navires à positionnement dynamique
Type et nombre de navires de support	3 bateaux de transfert de personnel et leur équipe + 1 navire de support « plongée »
Durée installation	1 à 2 jours par câble hors aléas météo
Durée totale d'installation	5 à 18 mois

Tableau 10 : Navires et description de l'installation des câbles inter-éoliens (source DONG Energy).

225. 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
226. 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 à la sous-station en mer.
227. 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.



Figure 44 : Navire support « Maersk Assister » (source DONG Energy).

4.4.4.3 PROTECTION DES CABLES

228. 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 *rock dumping*.
229. 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 la présente étude d'impact, la solution technique la plus pénalisante (*rock dumping*) a été retenue pour réaliser l'évaluation environnementale.
230. Ainsi, alors que le *jetting* devrait être utilisé sur les fonds sableux situés au nord-est du site, la majeure partie du site présente un substrat dur, pour lequel les deux catégories de protection seront utilisées. Le caractère plus ou moins accidenté de ce substrat sera le facteur primordial du choix d'une solution plus qu'une autre.
231. En cas de dommage du câble pendant la construction, le câble sera soit remplacé sur toute sa longueur par un câble de réserve (solution typique pour les câbles inter-éoliens), soit réparé avec des jointures de câble, selon l'endroit où le dommage survient.

4.4.4.3.1 PROTECTION PAR ENSOILLAGE

232. Le tranchage : l'ensouillage s'effectue à l'aide d'un excavateur, qui lors de sa progression, creuse la tranchée. L'outil dispose d'un ombilical et se déplace sur chenilles. Cependant, le recours à cette solution est très peu probable sur le site du banc de Guérande dont la bathymétrie très chaotique, limite considérablement le déplacement de l'engin.

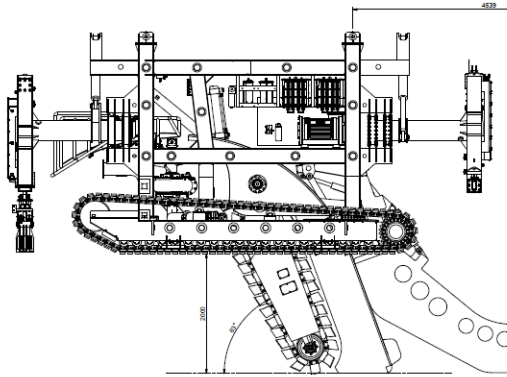


Figure 45 : Schéma de profil du trancheur mécanique

Figure 46 : Trancheur mécanique

233. Le *jetting* : dans le cas de fonds meubles, notamment les fonds sableux situés au Nord Est, les câbles pourraient être ensouillés grâce à des systèmes hydro jet, communément appelés « *jetting machine* ». Ces engins sont équipés de bras de « *jetting* » qui descendent dans le sol et injectent de l'eau sous pression.
234. L'outil est déposé sur le fond marin et les jets d'eau de mer à haute pression sous le ROV¹⁴ fluidisent le sol pour créer une tranchée. Le milieu fluidisé vient ensuite combler la tranchée. Le ROV dispose d'un ombilical et se déplace sur chenilles.



Figure 47 : ROV à jets hydrauliques

¹⁴ ROV : *Remotely Operated Vehicle* (Véhicule sous-marin télécommandé)

4.4.4.3.2 PROTECTIONS EXTERIEURES

235. Matelas béton/ coques en béton : Les matelas ou coques sont des systèmes qui sont posés par-dessus le câble afin de le stabiliser et de le protéger. Ils sont mis en place à l'aide d'une grue disposée sur le bateau, postérieurement à la pose du câble.



Figure 48 : Exemple de matelas et coques en béton

236. Coquilles / coquilles avec tiges de fixation : les coquilles sont en réalité des paires de demi-coquilles qui sont assemblées autour du câble pour constituer une sorte de « carapace » protectrice. Ces coquilles peuvent être en acier, en fonte, en fonte peinte ou en plastique (notamment à l'approche des fondations). Pour conférer le niveau de stabilité requis au système, des tiges ou ancrages de fixation peuvent être utilisés.



Figure 49 : Exemple de coque en polyuréthane ou polyéthylène



Figure 42 : Exemple de coque en matériaux métallique (source International Cable protection Comitee)

237. *Rock dumping* : la protection par enrochement consiste à déposer au-dessus du câble des roches qui permettent de le stabiliser et de le protéger contre les agressions du milieu extérieur.

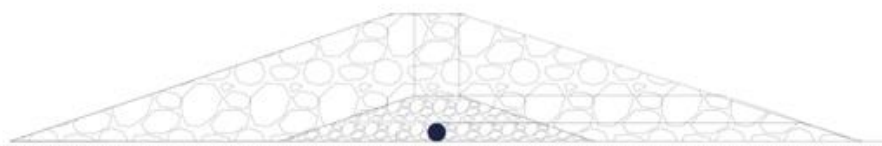


Figure 50 : Schéma prévisionnel de la protection de câble par enrochement (source EMF).

238. Compte tenu des conditions météocéaniques sur le site du banc de Guérande, les dimensions envisagées pour cet enrochement sont de 14m de large (7m de chaque côté du câble) et 3m de haut. Ces dimensions pourront être optimisées en fonction des solutions techniques proposées par les différents câbliers.
239. L'installation des enrochements (ou *rock dumping*) se fait soit par un navire équipé d'une conduite, permettant de déposer l'enrochement directement sur le fond, soit par un navire à déversement latéral, permettant de déverser l'enrochement depuis la surface.



Figure 51 : Exemple de navire durant une opération de dépôt de matériaux (source DONG Energy).

4.4.5 LIAISON SOUS-MARINE DE RACCORDEMENT

4.4.5.1 MODE DE POSE ET PROTECTION

240. La distance entre les deux câbles tripolaires de la liaison sera d'environ trois fois la hauteur d'eau. Cette distance pourra varier en fonction des obstacles rencontrés sur le parcours sous-marin, et diminuera progressivement jusqu'à un espace minimal au niveau de la jonction d'atterrage.
241. L'écart de trois fois la hauteur d'eau (distance entre le fond et la surface de la mer) est rendu nécessaire :
- pour assurer une distance permettant de minimiser le risque d'endommagement des câbles dû aux ancrages lors de la pose ;
 - pour permettre la réparation ultérieure des câbles et notamment la pose de la surlongueur inhérente à la réalisation d'une jonction en mer.
242. Modes de protection :
- Parmi les différentes méthodes possibles, RTE considère de manière préférentielle la protection par ensouillage qui consiste à enfouir les câbles dans le fond marin à une profondeur donnée. Cependant, lorsque la nature du fond marin ne le permet pas, ou bien lorsque l'ensouillage est insatisfaisant, on doit alors considérer des protections dites externes.

4.4.5.1.1 PROFONDEUR D'ENSOUILLAGE DES CABLES

243. Elle résulte de la prise en compte de plusieurs contraintes :

- les risques recensés sur la zone ;
- la connaissance du type de sol ;
- l'estimation des mouvements sédimentaires ;
- en conditions réelles de travaux, la rencontre entre les meilleurs efforts déployés par les entreprises qui installent le câble pour atteindre une profondeur cible et les conditions réelles de terrain.

244. Les risques recensés sur la zone :

Les câbles peuvent être exposés au risque de croche par une ancre (risque navigation) ou par un engin de pêche (risque pêche). Concernant la navigation, il s'agit d'estimer le type et l'intensité du trafic au niveau des fuseaux des câbles, ainsi que les éventuels lieux de mouillage à proximité. Concernant la pêche, on cherche à estimer le nombre de bateaux en activité dans la zone, selon le type de pêche (chalutage, dragage, etc.) et la période de l'année (saisonnalité des pêches, restrictions horaires, etc.). L'évaluation de ces risques permet de retenir un niveau de protection.

245. Evaluation du type de sol :

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

Une profondeur d'ensouillage cible est alors définie en fonction du niveau de protection visé et du type de sol. Pour une profondeur d'ensouillage donnée, un sol dur procure un meilleur niveau de protection qu'un sol plus mou.

246. Estimation des mouvements sédimentaires :

En cas de mouvements sédimentaires potentiels, une sur profondeur est intégrée à la cible pour intégrer le risque d'érosion.

4.4.5.1.2 PROTECTION PAR ENSOUILLAGE

247. L'ensouillage peut être réalisé par différentes techniques en fonction de la nature des fonds marins : hydro-jetting (jet d'eau sous pression pouvant être utilisé dans des sols ayant un niveau de cohérence limité), charruage (principe similaire à celui d'une charrue qui fend la terre, pouvant être utilisée dans un sol pas trop dur), tranchage (utilisation d'une machine de type scie circulaire, à roue ou chaîne, pour couper un sol dur).

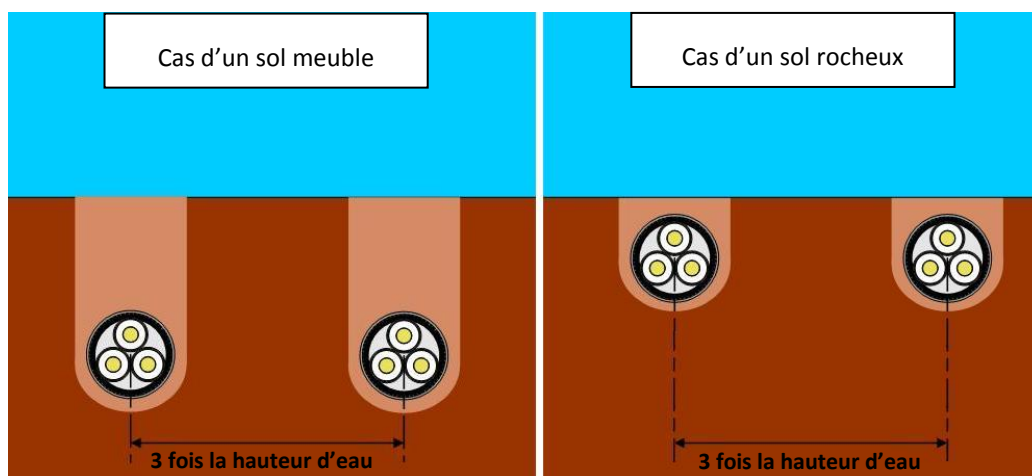


Figure 52 : Schéma d'une installation de câble ensouillé (source RTE)

4.4.5.1.3 PROTECTION EXTERNE

248. En cas de difficulté pour ensouiller les câbles, des protections spécifiques sont envisagées :

- la protection par matelas : des matelas de béton de forme rectangulaire, constitués de blocs béton articulés, forment ainsi un dispositif de maintien et de protection capable d'épouser la forme de l'ouvrage ;



Figure 53 : Exemple de protection externe par matelas

- la protection par enrochement (Rock-Dumping) : des morceaux de roches sont disposés sur les câbles à partir d'un navire spécialement dédié.



Figure 54 : Illustration d'enrochement

4.4.5.1.4 APPLICATION DE LA METHODOLOGIE A LA ZONE DE SAINT-NAZAIRE

249. **Au niveau du banc de Guérande**, le substrat est rocheux sur environ 3 km. Le relief est très chaoté. La zone est donc peu propice au chalutage, mais des arts dormants sont pratiqués. La navigation de commerce y est nulle car la zone est située en dehors du chenal d'accès au Grand port maritime. **Compte tenu du type de sol, les câbles seront protégés par enrochements ou matelas.**

Liaison sous-marine à deux circuits 225 000 volts Banc de Guérande - Prinquiau

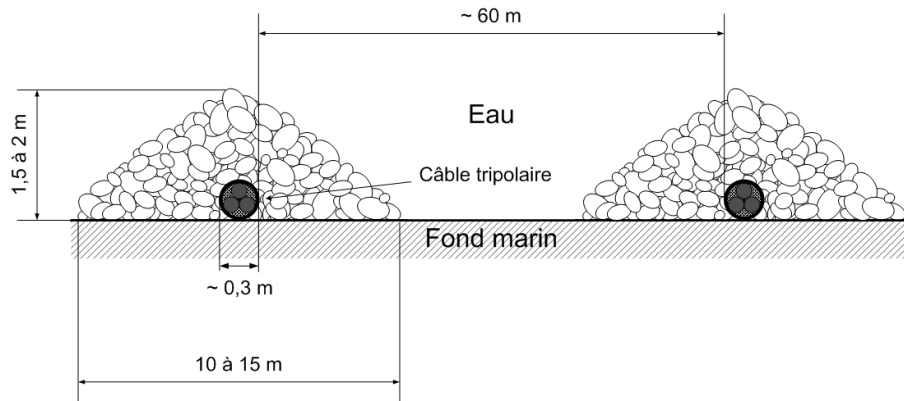


Figure 55 : Câbles tripolaires protégés par enrochement sur le banc de Guérande (vue en coupe, valeurs indicatives)

250. L'emprise des matelas sera de 3 m de large et de 50 cm de haut.
251. **Du pied du banc de Guérande et sur 25 km environ**, les fonds sont constituées de sables et d'argiles. Tous les sondages géotechniques réalisés sur cette partie tous les kilomètres ont pénétré à plus de 3 mètres de profondeur.
La zone est accessible aux chalutiers de gréements lourds (plusieurs dizaines, de longueur d'environ 16m). La zone est située en dehors du chenal d'accès du port.
Dans ces conditions, les câbles seront posés au fond de deux tranchées de profondeur 1,80 m (profondeur d'ouvrage à 1,50 m pour un câble de 30cm de diamètre).
252. **Sur les 5 derniers kilomètres**, la bathymétrie est plus faible et les fonds sont constitués de sables globalement plus denses. De même, tous les sondages géotechniques réalisés sur cette partie tous les kilomètres ont pénétré à plus de 3m de profondeur.
Le chalutage est pratiqué par des engins plus légers. En revanche, la zone croise le chenal secondaire allant vers Belle île ainsi que l'accès à la zone d'extraction de granulats du Grand Charpentier. La zone est près du chenal d'accès au Grand Port avec un risque de déviation exceptionnel des plus petits navires de commerces (pouvant naviguer jusqu'à maximum 5 m CM) en dehors du chenal. Enfin, une légère érosion potentielle a été constatée.
Dans ces conditions, les câbles seront posés au fond de 2 tranchées, de profondeur 2,10 m environ (profondeur d'ouvrage à 1,80 m pour un câble de 30cm de diamètre).

Liaison sous-marine à deux circuits 225 000 volts Banc de Guérande - Prinquiau

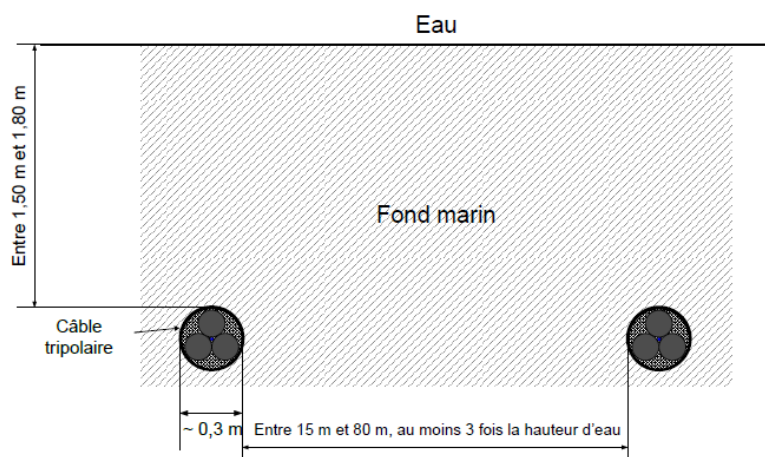


Figure 56 : Câbles tripolaires ensouillés dans le fond marin en pleine mer, vue en coupe

253. **Aux abords de l'estran sur environ 200 m**, une zone rocheuse majoritairement recouverte par du sable doit être traversée. Les câbles seront éventuellement entourés d'un fourreau et enterrés dans deux tranchées. La profondeur de l'ouvrage sera comprise entre 1 m et 2 m en fonction de l'épaisseur de la couche de sable réellement rencontrée. La profondeur de l'ouvrage permettra de faire la transition entre la zone d'atterrissage et la zone sableuse en mer.
254. **Au niveau de l'estran et de la plage de sable**, les câbles seront enterrés au fond de deux tranchées. La profondeur des tranchées a été déterminée pour assurer que l'ouvrage ne soit pas découvert sur sa durée de vie hors événements exceptionnels. Les câbles seront entourés de fourreaux, eux-mêmes éventuellement enrobés de béton, en fonction des contraintes techniques et de sécurité. Il est également possible que les fourreaux soient remplis d'un coulis de béton.
La profondeur de l'ouvrage sera comprise entre 2,5 et 4,5 m environ, selon le profil de la plage.

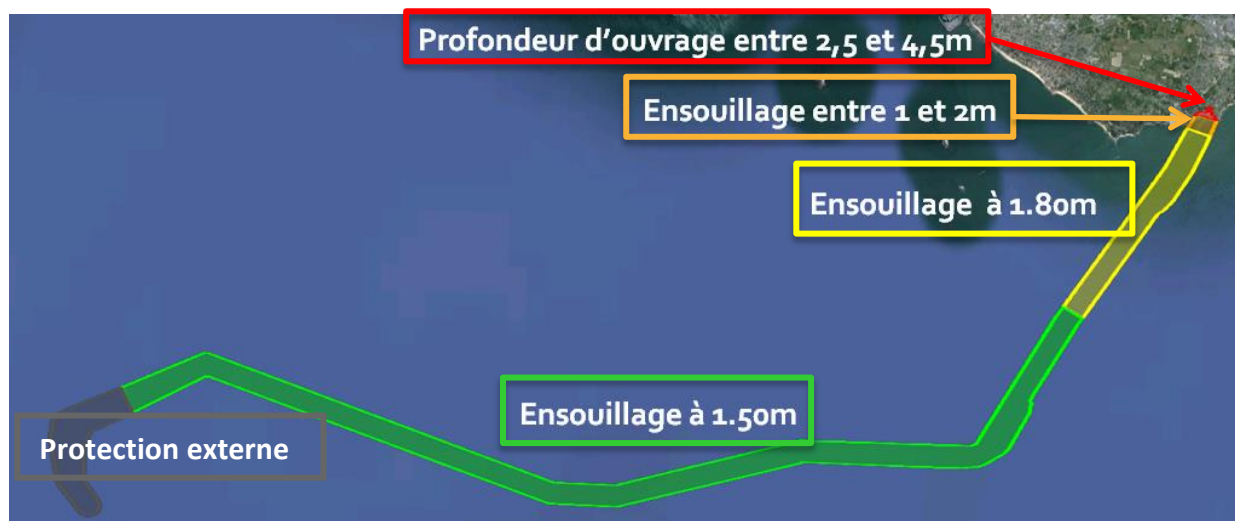


Figure 57 : Objectif de protection des câbles sous-marins

255. Ces profondeurs et modalités de protection sont les objectifs fixés aux entreprises qui réaliseront les travaux sur la base des études réalisées; elles pourraient être adaptées en fonction de la géotechnique et des difficultés rencontrées durant les travaux.
256. Au niveau de l'atterrissage, deux chambres de jonction entre les câbles sous-marins et les câbles souterrains seront construites en béton et enterrées en haut de plage. La profondeur de l'ouvrage sera

de 2,5 m environ, soit 3,5 m en fond de fouille ; des fondations jusqu'au toit rocheux seront mises en œuvre pour garantir leur stabilité.

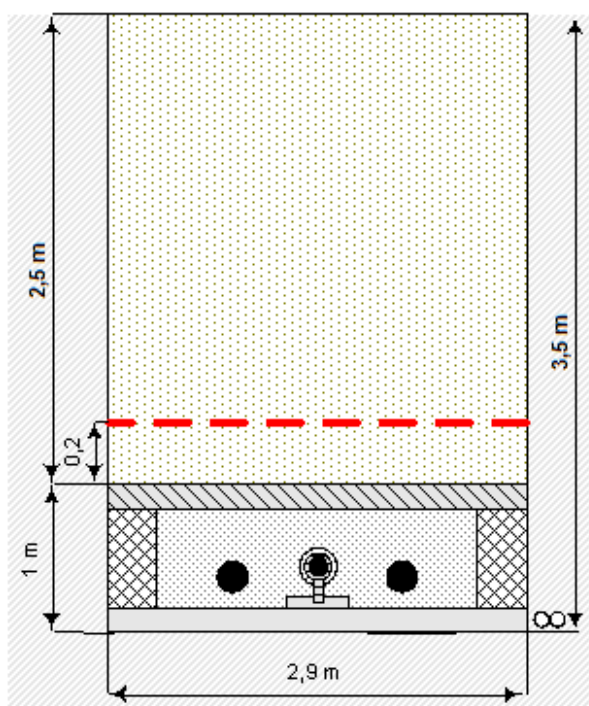


Figure 58 : Chambre de jonction (atterrage)

4.4.5.1.5 TECHNIQUES D'ENSOUILLAGE

257. Deux outils d'ensouillage pourront être utilisés simultanément ou a posteriori de la pose : la charrue ou le jetting.

- Ensouillage par charruage : une charrue est tractée depuis le moyen nautique et utilise l'action tranchante d'un soc. Le câble est déroulé depuis le moyen nautique, traverse la charrue par l'avant pour être enfin ensouillé.

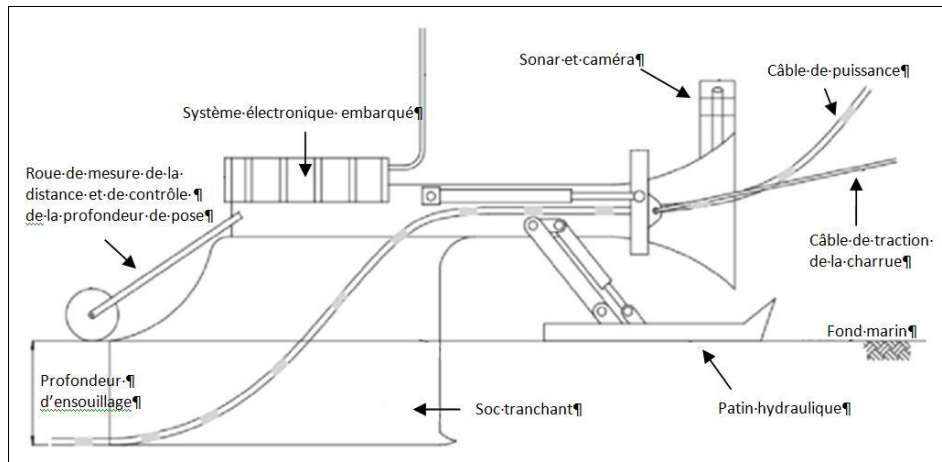


Figure 59 : Exemple de charrue (schéma de principe et photographie)

- Ensuillage par jetting : un bateau de support déploie un engin de jetting. Cet outil vient souffler la couche superficielle des fonds marins avec un jet d'eau ou d'air sous pression et permet ainsi l'ensuillage du câble.



Figure 60 : Exemple de water jetting

258. Les deux techniques peuvent aussi être combinées.

259. Dans les fonds meubles (petits ou grands fonds), la largeur de la tranchée sera comprise entre 50 cm et 1 m environ et l'emprise de l'outil sur le sol comprise entre 5 et 10 m environ.

4.4.5.1.6 TRAVAUX AUX ABORDS DE L'ESTRAN ET A L'ATTERRAGE

260. A l'approche de la Courance, le substrat est potentiellement rocheux (recouvert de sédiments par endroit) sur environ 200 m puis sableux.
261. Pour traverser les abords de l'estran (potentiellement rocheux) et l'estran, plusieurs outils sont envisagés :
- Pelle rétro-caveuse sur barge (back-hoe dredger) creusant une tranchée suffisamment large pour rester à flots en permanence. Ses pieux ne servent qu'à se maintenir en position mais pas à se hisser en hauteur.



Figure 61 : Exemple de pelle rétro-caveuse, ici avec navire sablier et remorqueur

- Pelles mécaniques sur une plateforme autoélevatrice (jack-up)



Figure 62 : Exemple de pelle mécanique sur barge autoélevatrice

- Trancheuse mécanique



Figure 63 : Exemple de trancheuse mécanique

262. **Pour traverser la plage**, les deux tranchées seront creusées avec des engins de type pelles mécaniques, et éventuellement étayées par un blindage ou des palplanches.
263. La largeur de la tranchée pourra s'étendre jusqu'à une vingtaine de mètre par câble; elle pourra être réduite si elle est consolidée par des palplanches ou du blindage.

4.4.5.2 MOYENS NAUTIQUES ENVISAGES

264. Les moyens nautiques utilisés dépendront de l'entreprise attributaire.
265. Dans tous les cas, ces moyens nautiques respecteront la réglementation en termes de signalisation, les zones de travaux seront sécurisées et les consignes de sécurité seront respectées.
266. Le port d'attache des plus gros moyens nautiques n'est pas connu à ce jour, mais il est fort probable que cela soit Saint-Nazaire. Pour les plus petits moyens, d'autres ports comme la Turballe pourraient être utilisés.
267. Le câble pourra être posé par :
- une barge, en particulier pour les faibles hauteurs d'eau. Ses 6 à 8 ancrs papillonnantes sont déplacées par des remorqueurs qui l'accompagnent pendant toutes les opérations,
 - un navire câblé, à positionnement dynamique.



Figure 64 : Exemple d'une barge de pose



Figure 65 : Illustration d'un navire posant des câbles (Source : Global Marine System)

268. Si le câble est posé sans être protégé temporairement, des navires dits chiens de garde patrouillent à proximité de façon à signaler sa position.
269. Des navires complémentaires interviendront pour l'ensouillage ou l'enrochement.

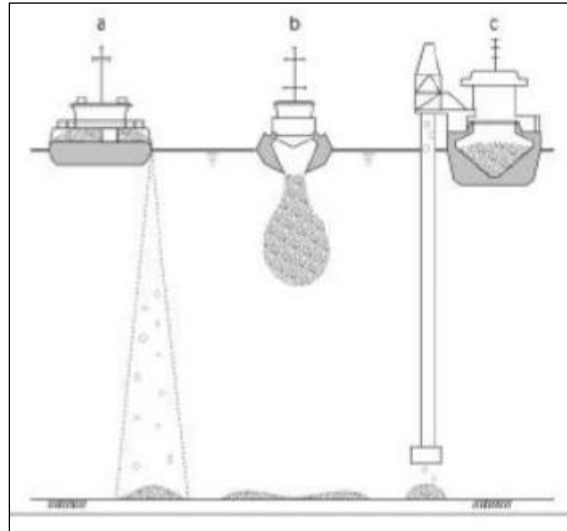


Figure 66 : Illustration des différents types de navire d'enrochement (Source Kuik, 1986)

4.4.5.3 SEQUENCEMENT DES TRAVAUX

270. En amont des travaux de déroulage des câbles sous-marins seront réalisés les travaux de génie civil à l'atterrage : construction des deux chambres d'atterrage, création des tranchées et installation des fourreaux sous la plage.
271. Pour minimiser la gêne aux utilisations habituelles de la plage, ces travaux à l'atterrage et dans une limite de 300 m comptés à partir de la laisse de haute mer seront réalisés en dehors de la période estivale.
272. De même en amont des travaux, auront lieu :
- des levés géophysiques préparatoires en mer et des travaux de nettoyage du tracé à l'aide d'un grappin.
 - des levés topographiques à l'atterrage pour valider le niveau le plus bas et donc la profondeur des tranchées à creuser.
273. La pose et protection des câbles sous-marins aura lieu en deux campagnes (1 campagne par câble) et sera planifiée selon les principes suivants :
- déroulage et protection du câble dans l'estran et à l'atterrage en dehors de la période estivale ; le câble sera tiré depuis le moyen nautique stationnant au large vers la chambre d'atterrage, grâce à un treuil situé sur la partie terrestre.
 - déroulage et protection du câble en pleine mer durant la période estivale afin de minimiser l'aléa météorologique.
274. Chacune des deux campagnes de travaux devrait avoir une durée d'environ 3 mois.
275. Un survey géophysique aura lieu juste après les travaux pour vérifier la profondeur de l'ouvrage en mer et à l'atterrage.

4.4.6 LIAISON SOUTERRAINE

4.4.6.1 MODE DE POSE

276. RTE pratique plusieurs modes de pose en fonction de la nature du câble utilisé, du milieu traversé et des obstacles rencontrés.

277. Les modes de pose des câbles utilisés sont les suivants :

- La pose en fourreaux polyéthylène haute densité (PEHD)
Les câbles sont déroulés dans des fourreaux PEHD posés en pleine terre. Cette pose est utilisée en plein champ ou en accotements de voiries, lorsqu'il y a un faible encombrement de réseaux.

Ces fourreaux, d'un diamètre d'environ 23 cm, sont disposés suivant le schéma ci-après.

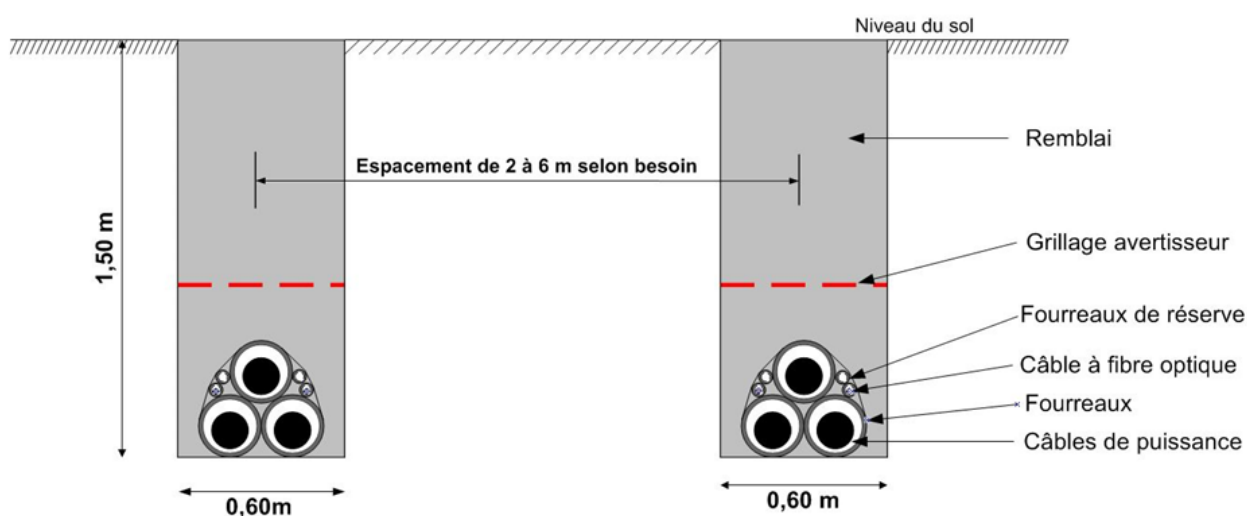


Figure 67 : Coupe-type d'un bloc fourreaux (PEHD)

- La pose en fourreaux polychlorure de vinyle (PVC)
Les câbles sont déroulés dans des fourreaux PVC enrobé de béton. Cette pose est utilisée pour les passages sous-chaussée ou les zones à fort encombrements du sous-sol ou nécessité technique (dissipation thermique).
Ces fourreaux, d'un diamètre d'environ 25 cm, sont disposés suivant le schéma de principe ci-après.

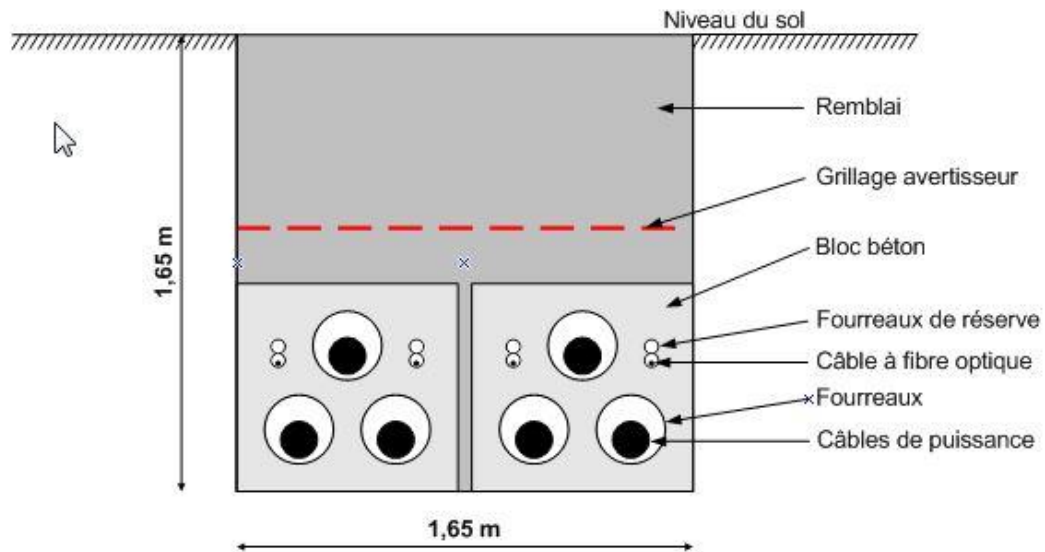


Figure 68 : Coupe-type d'un bloc fourreaux (PVC)

278. Pour la pose en fourreaux PVC, la largeur de la tranchée est d'environ 1,65 m. Pour la pose en fourreaux PEHD, il y a deux tranchées d'environ 60 cm de largeur, espacées de 2 à 6 m selon besoin.
279. La profondeur de fond de fouille est d'environ 1,50 m (pose en fourreaux PEHD) ou 1,65 m (pose en fourreaux PVC).
280. Un à trois fourreaux pour fibres optiques sont prévus pour chaque circuit.
281. La longueur de câble à 225 000 volts d'un seul tenant est d'environ 1 000 m. Ils sont raccordés entre eux par des jonctions installées dans des chambres souterraines de dimensions approximatives : 12 m (L) x 2 m (l) x 1 m (H) recouverte de remblais sur une hauteur d'environ 1 m.



Figure 69 : Illustration d'une liaison souterraine à deux circuits



Figure 70 : Exemple d'une chambre de jonction pour un circuit à 225 000 volts

282. Certaines chambres de jonction sont complétées par des regards maçonnés souterrains de taille plus restreinte que ces dernières (entre 2 et 3 m² de surface pour des profondeurs de 1 à 3 m). Ces regards servent à la gestion de la mise à la terre et doivent rester visitables.

4.4.6.2 TECHNIQUES DE FRANCHISSEMENT D'OBSTACLES

283. Il existe plusieurs techniques adaptées aux franchissements d'obstacles, comme les routes, les cours d'eau et les voies ferrées.

4.4.6.2.1 FORAGE DIRIGE

284. Cette technique est mise en œuvre dans le cadre de franchissements de réseaux routiers ou ferrés importants et dans le cadre de franchissement de certains cours d'eau ou canaux. Cette technique onéreuse et difficile à mettre en œuvre est réservée à des obstacles techniquement infranchissables avec des moyens conventionnels.

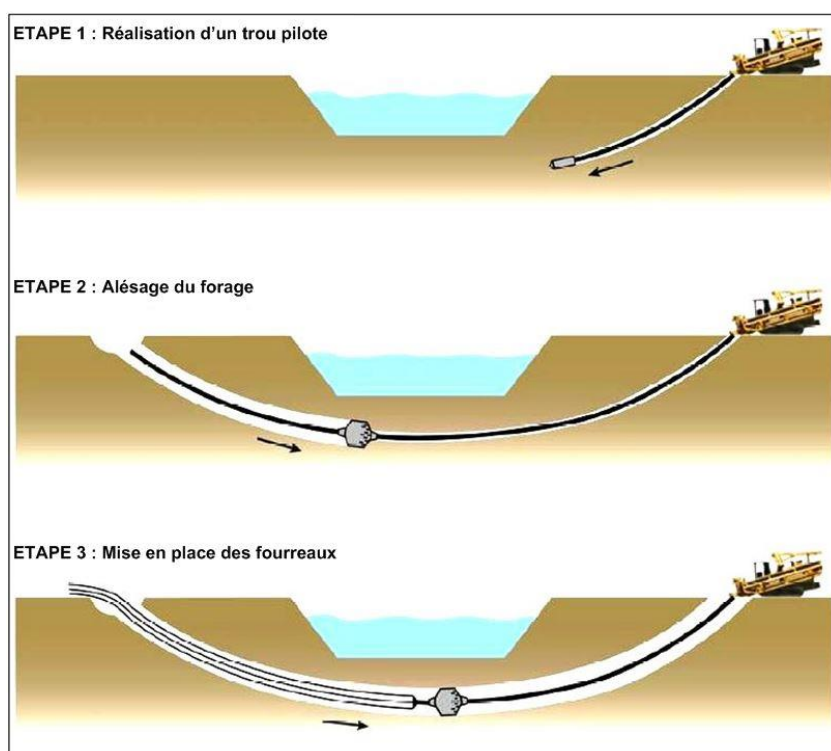


Figure 71 : Schéma de principe d'un forage dirigé





Figure 72 : Exemple d'un forage dirigé 4 trous ou 1 trou (suivant répartition des fourreaux)

285. L'emprise nécessaire à la réalisation du forage dirigé nécessite une surface d'environ 300 m² pour positionner la foreuse, l'unité de recyclage des boues et tout le matériel nécessaire.
286. Les durées de forages sont très variables et dépendent principalement de la nature du sous-sol. Ainsi, pour une seule liaison la durée de travaux peut varier de 1 à 3 mois.

4.4.6.2.2 FRANCHISSEMENT D'UN COURS D'EAU EN SOUILLE

287. Dans le cas du franchissement d'un ru ou d'un ruisseau dont le débit est faible ou insignifiant, les opérations sont les suivantes :
- mise en place de filtres en aval ex : bottes de paille ;
 - réalisation de la tranchée directement dans le lit ;
 - mise en place d'une buse de dimension supérieure aux fourreaux PEHD ;
 - reconstitution du lit avec les matériaux extraits et stockés sur le côté ;
 - reconstitution des berges et suppression du filtrage en aval ;
 - plus tard, mise en place des fourreaux dans la buse.

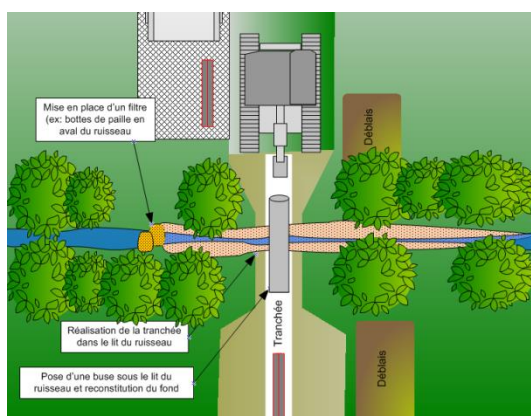


Figure 73 : Pose de buse ou des fourreaux directement dans le lit

288. Dans le cas d'un franchissement d'un ruisseau dont le débit est significatif, les opérations sont les suivantes :
- mise en place de filtre en aval ex : bottes de paille ;
 - mise en place d'un batardeau provisoire en amont en matériaux ou plastique ;
 - mise en place d'une pompe de relevage ou de drains provisoires afin d'assurer la continuité de l'écoulement ;
 - réalisation de la tranchée directement en fond de rivière ;

- mise en place d'une buse (destinée à accueillir les fourreaux par la suite) ou directement des fourreaux PEHD ;
- reconstitution du lit avec les matériaux extraits et stockés sur le côté ;
- reconstitution des berges et suppression du batardeau et du filtrage ;
- plus tard, mise en place des fourreaux dans la buse.

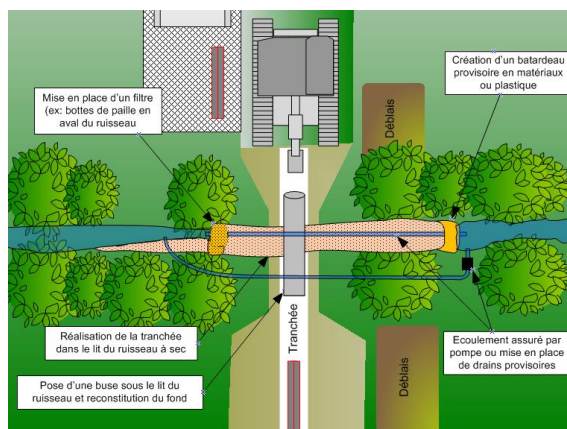


Figure 74 : Pose de batardeaux provisoires



Figure 75 : Exemples de batardeaux provisoires

4.4.6.2.3 PHASE CHANTIER

289. En section courante (sous voiries), les travaux sont réalisés selon les étapes suivantes :
- balisage des emprises ;
 - découpage de la chaussée ou décapage du sol ;
 - ouverture de la tranchée et évacuation des déblais au fur et à mesure de l'ouverture de la tranchée ;
 - pose des fourreaux ;
 - réalisation du massif bétonné autour des fourreaux, si nécessaire ;
 - pose d'un grillage avertisseur ;
 - réfection des chaussées ;
 - déroulage des câbles.
290. Hors voiries, les travaux sont réalisés selon les étapes suivantes :
- Dégagement des emprises sur une largeur de 15 à 20 m selon l'écartement des liaisons. Les passages dans les haies et/ou boisements sont limités à 5 m chaque fois que cela est possible.
 - Aménagement de la zone de chantier :
 - reprise de la limite des clôtures existantes et des entrées de parcelles si nécessaire ;
 - mise en place d'une piste de circulation pour les véhicules de chantier avec pose au préalable et selon la nature des terrains de plaques légères directement sur la terre végétale ;

- création de plateforme en plaque ou piste empierrées à chaque point de déroulage des câbles si nécessaire.
- Décapage de la terre végétale :
 - au-dessus de chaque tranchée et sur une largeur minimum de pelle hydraulique (3m environ), dans le cas de liaisons écartée ;
 - au-dessus des deux tranchées sur une largeur de 8 à 15m, dans le cas de liaisons plus proches.
- La terre végétale est décapée, sur une épaisseur de 10 à 30 cm, et stockée en cordon au-delà de la zone décapée.
 - amenée et assemblage du matériel et des fourreaux sur et de part et d'autre de la piste ;
 - après assemblage, pose des fourreaux en fond de fouille à l'aide de la pelle hydraulique ;
 - remise en place des déblais dans la fouille puis, régalinge de la terre végétale.

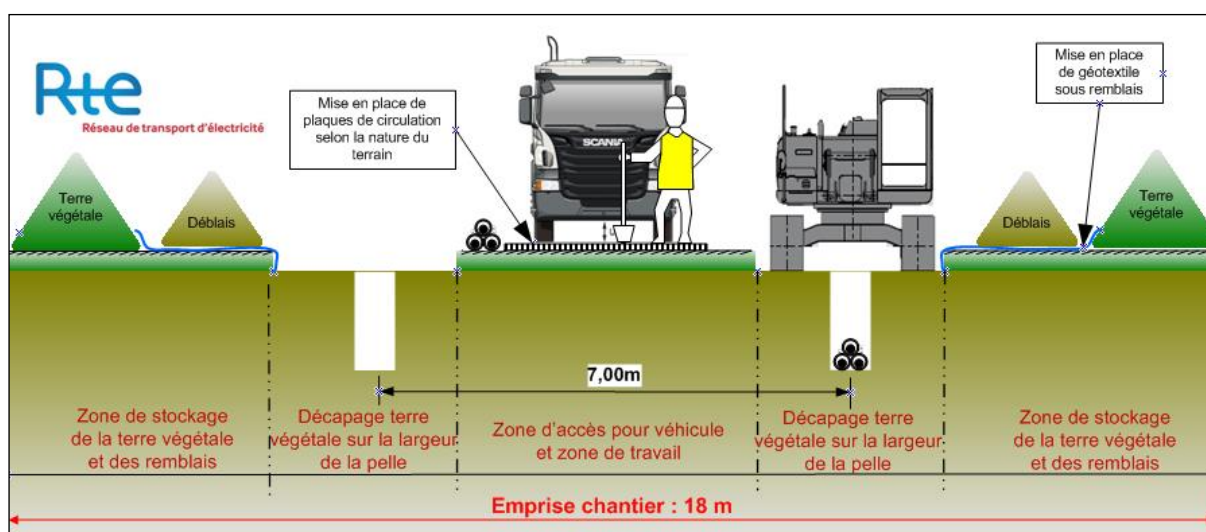


Figure 76 : Exemple d'organisation d'un chantier hors voiries



Figure 77 : Exemples de pistes en « plaques » et en matériaux

291. Un chantier de pose de liaison souterraine est un chantier mobile conçu pour réduire les impacts de proximité.
292. Dans la phase génie civil, la vitesse d'avancement oscille entre 15 et 100 m/jour, selon l'environnement de travail, les difficultés techniques dont l'encombrement réseaux, les mesures écologiques à respecter et les aléas. L'emprise du chantier s'étend sur 100 à 500 m de long. Elle est réduite à quelques dizaines de mètres pendant le tirage de câbles et la réalisation des jonctions.

4.4.6.2.4 CONDITIONS D'USAGE DES SOLS AU VOISINAGE DE LA LIAISON SOUTERRAINE

293. L'accès aux câbles reste indispensable pour satisfaire les impératifs d'entretien et de réparations éventuelles. Aussi, il est nécessaire de réserver une emprise au sol de 2,5 m de part et d'autre de l'axe de chaque circuit de la liaison, libre de toute installation, libre de toute végétation autre que superficielle ou arbustive soit une bande de servitude totale de 5 m pour chaque circuit de la liaison souterraine. L'écartement entre les deux circuits peut atteindre jusqu'à environ 6 m.
294. Cette servitude n'entraîne aucune dépossession du terrain et toute culture (sauf végétation à système racinaire développé) restera possible.

4.5 MODALITES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

4.5.1 FIABILITE DES EOLIENNES

295. L'éolienne Haliade 6MW d'Alstom est conçue pour faciliter la maintenance et réduire les sources de pannes. Les contraintes d'exploitation et de maintenance, comme l'accessibilité et la démontabilité des pièces, ont été prises en compte dès les premières étapes de la conception. Des études concernant l'ergonomie des opérations de maintenance et la sécurité du personnel ont été réalisées. Cela a permis d'optimiser les structures afin que les techniciens puissent aisément effectuer les opérations de maintenance en minimisant les risques d'accident.

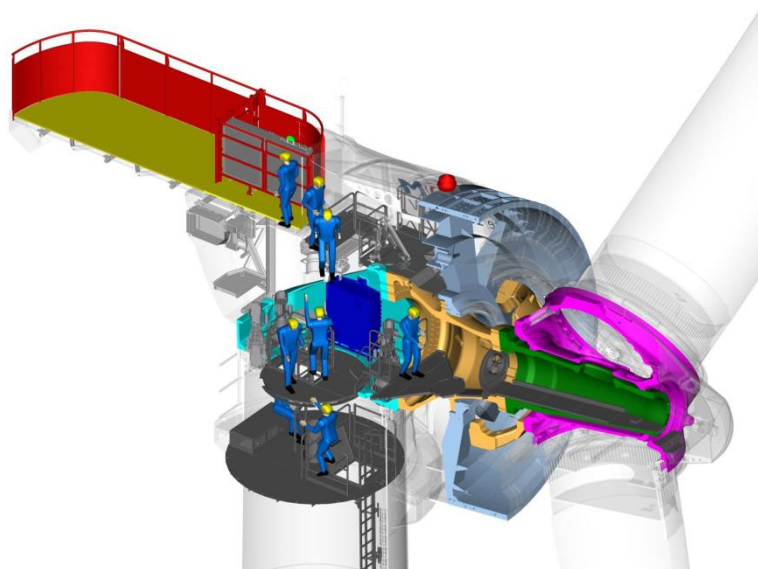


Figure 78 : Etude de l'ergonomie des opérations de maintenance (source Alstom).

296. La recherche de fiabilité des éoliennes se traduit par les principales caractéristiques technologiques suivantes :
- l'entraînement direct de la génératrice à aimants permanents permet d'éviter l'emploi d'un multiplicateur et des éléments tournants associés. La maintenance est ainsi allégée, et le risque de panne mécanique réduit. Ces pannes mécaniques de multiplicateur représentent une des principales causes des défaillances dans une éolienne et sont très pénalisantes pour la production car il faut compter entre 6 et 14 jours d'indisponibilité en moyenne pour chaque panne, hors délais logistiques.

- le concept « Pure Torque » développé par Alstom et éprouvé sur ses modèles d'éoliennes existantes apporte une fiabilité supplémentaire à l'ensemble de la chaîne d'entraînement en détournant les efforts parasites susceptibles de l'affecter.
- le contrôle d'atmosphère réalisé par pressurisation de la nacelle permet d'assurer les conditions de température et d'hygrométrie et d'optimiser la durée de vie des composants en limitant leur exposition à l'environnement marin. La redondance des équipements (capteurs, éléments de communication) permet également d'assurer un fonctionnement sans interruption de l'installation.

4.5.2 SIGNALISATION DU PARC

4.5.2.1 BALISAGE AERIEN

297. 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).
298. 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*, niveau de plus basse mer astronomique).

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

299. 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.

4.5.2.2 BALISAGE MARITIME

300. 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.
301. 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 sur proposition de la Préfecture Maritime avant approbation par les autorités. Les dispositifs correspondants sont portés sur les documents nautiques et signalés par les moyens réglementaires de diffusion de l'information nautique.
302. Le plan de signalisation maritime, conforme aux deux recommandations de l'AISM mentionnées précédemment, qui sera 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 :
 - l'éolienne la plus au nord,
 - l'éolienne la plus à l'ouest,
 - les 2 éoliennes les plus proches du chenal sud,
 - les 2 éoliennes les plus proches du chenal nord ;
 - 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.
303. 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 12 : Caractéristiques des feux de balisage maritime (source EMF).

304. Les équipements suivants seront ajoutés, conformément aux recommandations de l'AISM et plus particulièrement de la Grande Commission Nautique :
- 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.

4.5.2.3 COUPLAGE DES SIGNALISATIONS LUMINEUSES AERIENNES & MARITIMES

305. 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 (M) 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 13 : Rythmes des feux de signalisation (source EMF).

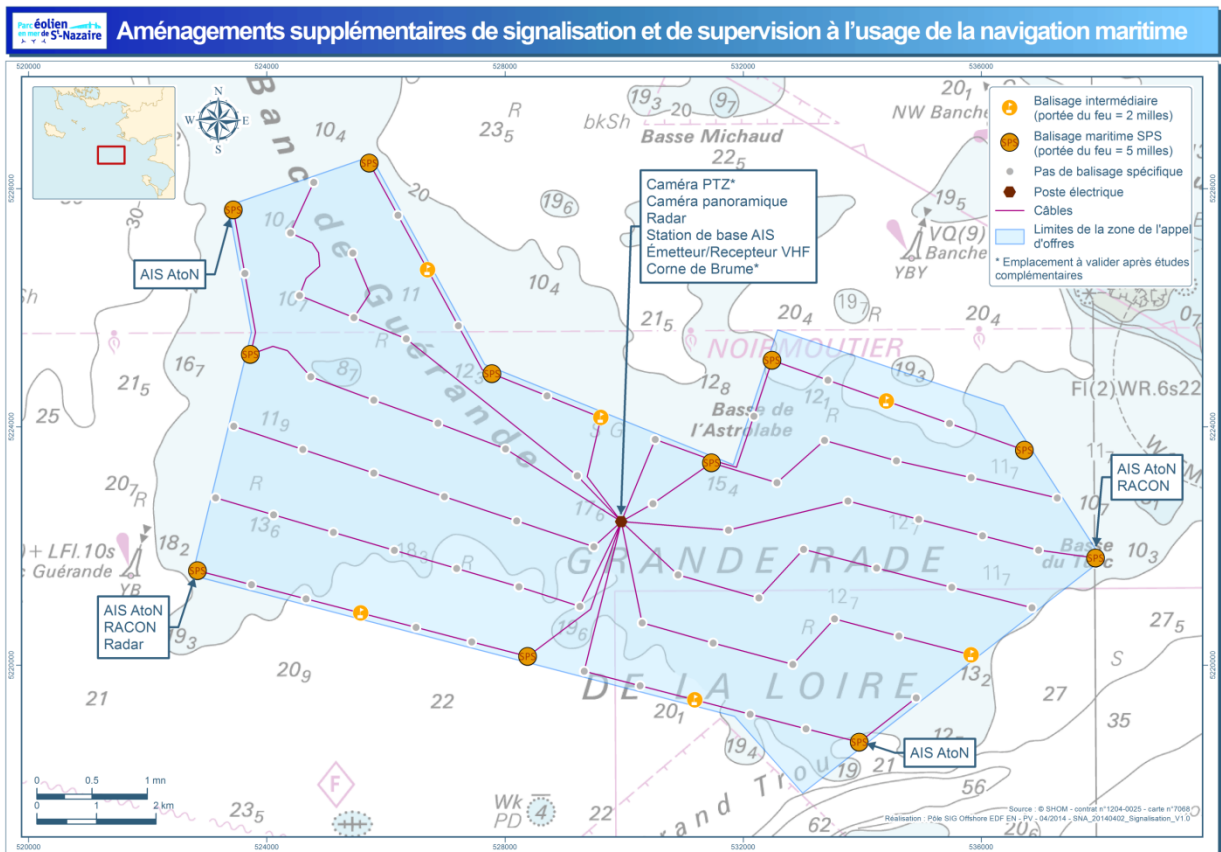


Figure 79 : Feux de signalisation maritime (source EMF).

4.5.3 SUPERVISION DU PARC

306. L'infrastructure dédiée à la supervision des éoliennes est le centre de supervision des parcs éoliens en mer qui sera localisé en Loire-Atlantique. En lien étroit avec les équipes de maintenance, ce centre regroupe les activités suivantes :
- Supervision, conduite à distance et suivi des performances des parcs éoliens en mer (24/24h, 7/7j), c'est à dire des éoliennes et du poste électrique en mer.
 - Contrôle des accès aux infrastructures et centralisation des informations liées à la sécurité des opérations sur l'ensemble des parcs
 - Base des équipes de support opérationnel aux équipes de maintenance des différents parcs éoliens.
 - Base des équipes d'ingénierie de maintenance qui seront notamment en lien avec les équipes ingénierie d'Alstom pour le retour d'expérience et les améliorations
 - Base des équipes de gestion logistique, administrative et d'encadrement pour l'ensemble de l'activité d'exploitation-maintenance pour l'éolien en mer.

4.5.4 MAINTENANCE DU PARC

307. La base de maintenance de 1250 m² est prévue à proximité immédiate du parc éolien en mer de Saint-Nazaire. Elle comprendra à la fois une zone de stockage pour les pièces détachées, consommables et outillages ainsi qu'une zone de bureaux, vestiaires, espaces de vie pour le personnel. La zone de quai utilisée pour le transfert des techniciens et du matériel comportera une aire réservée aux chargements et déchargements de matériel. Elle sera équipée de moyens de levage et de manutention, ainsi que d'emplacements permanents équipés de pontons flottants pour les navires de transfert.
308. Plusieurs types de navires (monocoques, catamarans...) capables de transporter 12 passagers et environ 4 tonnes de charge utile, sont à l'étude. D'une vitesse moyenne de 20 nœuds, ils pourront atteindre chaque éolienne du parc en une heure environ.
309. En cas de mauvais temps rendant impossible le transfert par navire, des hélicoptères d'une capacité de 3 passagers pourront être utilisés, si la visibilité le permet. Le transfert des techniciens de l'hélicoptère à l'éolienne et à la sous-station sera assuré par treuillage sur des plateformes dédiées.
310. Ces activités seront réalisées par une centaine d'ingénieurs, techniciens et marins.

4.5.4.1 MOYENS NAUTIQUES

311. Les navires seront des catamarans ou monocoques d'environ 30 mètres de longueur hors-tout et permettront le transport de 12 passagers (4 équipes de 3 techniciens) à une vitesse de croisière supérieure à 20 nœuds si les conditions de mer le permettent. Ils seront basés dans le port d'exploitation et de maintenance, à proximité immédiate de la base de maintenance.
312. Le centre du parc étant à environ 33 kilomètres du port, une durée de moins d'une heure sera nécessaire pour atteindre le parc.
313. Les bateaux pourront naviguer par tout type de temps. En revanche, les conditions météorologiques devront permettre un transfert sûr des techniciens sur les éoliennes ou la sous-station électrique en mer. Les étraves des navires seront équipées de défenses permettant le transfert direct des techniciens sur l'échelle du système d'accostage.
314. Les navires disposeront d'une surface permanente sur le pont, à l'avant du navire, pour du matériel nécessaire aux opérations d'exploitation et maintenance. Les grues sur les plateformes seront utilisées pour transférer le matériel depuis le pont des navires jusqu'à ces plateformes.

315. Pour la maintenance courante, de 1 à 3 navires de transfert seront déployés simultanément sur le site, en moyenne 250 jours par an, en effectuant chacun de 1 à 2 allers-retours par jour. Le nombre de rotations cumulées de l'ensemble des navires sera de l'ordre de 600 à 1200 par an.



Figure 80 : Navire de transfert monocoque sur le parc éolien en mer d'Horns Rev (source DONG Energy).

4.5.4.2 MOYEN AERIEN

316. En cas de mauvais temps rendant impossible le transfert des équipes par navire et si la visibilité le permet, un hélicoptère d'une capacité de 3 passagers sera utilisé pour les interventions de maintenance corrective. Les accès des techniciens aux éoliennes ou à la sous-station seront assurés par treuillage.
317. Si nécessaire, l'hélicoptère effectuera plusieurs allers-retours entre l'héliport et le parc (de 2 à 6 allers-retours par jour). L'hélicoptère sera utilisé environ 80 jours par an. Le nombre moyen de rotations sera de l'ordre de 250/an.
318. Sous réserve de validation technique et d'obtention des autorisations nécessaires, l'hélicoptère pourra ponctuellement être amené à se poser pour le chargement de colis et de personnel sur une hélisurface à proximité de la base de maintenance.
319. La base aéroportuaire n'est pas encore connue. Le plan de vol dépendra de la localisation de cette base, mais aussi des autorisations spécifiques à obtenir.



Figure 81 : Hélicoptère sur le site d'Horns Rev (source DONG Energy).



Figure 82 : Accès à la turbine par la pièce de transition (source DONG Energy).

4.5.5 NATURE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE DU PARC

4.5.5.1 MAINTENANCE COURANTE

320. La maintenance courante regroupe les activités de maintenance préventive (entretien) et corrective (dépannages) qui sont réalisées par les équipes de maintenance localisées sur la base portuaire, ou avec des moyens qui leurs sont directement rattachés.
321. Maintenance des équipements émergés :
- La maintenance préventive est de périodicité annuelle et requiert une intervention de plusieurs jours par éolienne, impliquant une activité quasi continue tout au long de l'année tandis que la maintenance corrective est par nature de périodicité indéfinie.
 - Les matériels à entretenir sont les éoliennes, les matériels auxiliaires localisés sur la fondation (entretien et dépannage de la grue, des dispositifs de refroidissement), la fondation elle-même (protection anticorrosion, peinture et anodes, nettoyage des échelles) ainsi que la sous-station en mer (entretien des structures, entretien et dépannage des matériels électriques, entretien et dépannage des matériels auxiliaires).
 - Les techniciens sont basés à terre et transférés quotidiennement sur le parc si les conditions météorologiques le permettent, par bateau ou par hélicoptère.
 - Les navires de transfert opèrent depuis la base portuaire de La Turballe tandis que l'hélicoptère opère depuis une base aéroportuaire et éventuellement une hélisurface encore à définir.
 - Le matériel est généralement transporté sur site depuis la base de maintenance : pièces détachées (jusqu'à 2 t environ), outillages et consommables incluant lubrifiants, liquides de nettoyage, de refroidissement, peinture, etc.
322. Inspection des équipements sous-marins :
- Les inspections sous-marines sont effectuées par des navires de reconnaissance pour contrôler l'état des fondations, et de la protection des câbles. L'intervention de plongeurs n'est prévue que de manière exceptionnelle et les interventions depuis la surface ou le cas échéant l'intervention de ROV (remotely operated vehicle) seront privilégiées.
 - La périodicité initiale de ces inspections sera de un ou deux ans. Elle pourra ensuite être réduite en fonction des résultats des inspections initiales.

4.5.5.2 MAINTENANCE LOURDE

323. La maintenance lourde regroupe les activités qui nécessitent l'intervention de moyens maritimes dédiés. Elle regroupe les remplacements de composants majeurs sur les turbines avec intervention de moyens de levage lourds, les remplacements de composants lourds du poste électrique en mer (en principe peu fréquents) et les éventuelles interventions sous-marines sur la protection anti-affouillement, les câbles ou leur protection.
324. Les moyens logistiques mis en œuvre sont principalement des navires ou barges auto-élévateurs disposant de moyens de levage lourds, des navires de type "supply", des barges et les moyens associés aux opérations de pose de câbles.
325. La logistique lourde est en principe déployée depuis un grand port, à l'exception éventuelle de certains transferts de personnel qui peuvent être effectués depuis la base de maintenance, générant un accroissement ponctuel du trafic de navires de transfert entre le port de Saint-Nazaire et le parc. Les opérations de maintenance lourde se déroulent en continu de nuit et de jour lorsque les conditions météorologiques le permettent.

4.5.6 NATURE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE DU RACCORDEMENT

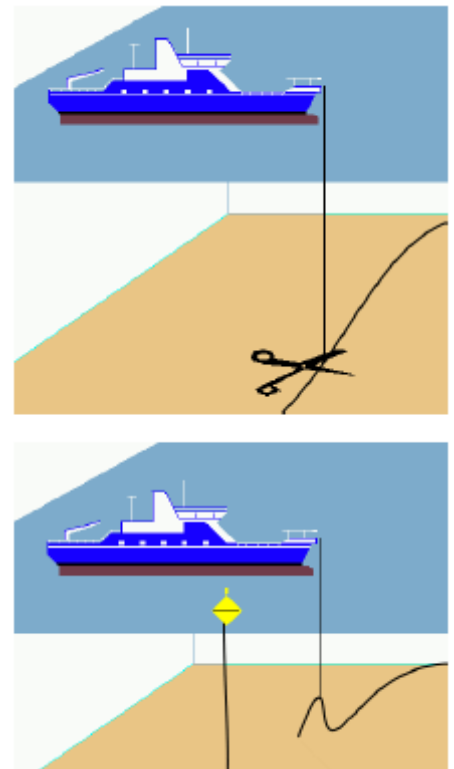
326. Cette section traite des opérations de maintenance en mer ; à terre, les opérations de maintenance consistent en une visite annuelle le long du tracé et tous les six ans au niveau de quelques chambres de jonction.
327. Les opérations de maintenance en mer sont ponctuelles et ne nécessitent pas de navire constamment affrété.

4.5.6.1 MAINTENANCE PREVENTIVE

328. Dans le cadre des liaisons sous-marines, une surveillance du tracé sera mise en place. Cette vérification consiste en une étude géophysique (appelée couramment survey) permettant de contrôler la position du câble et la configuration du fond marin à ses abords. Une première vérification du tracé sera réalisée 1 an après la mise en service.
329. La récurrence des visites ultérieures est fonction du type de pose des liaisons sous-marines. Pour les câbles ensouillés, en fonction des résultats de la première vérification et des zones à risques traversées (forts courants, dunes sous-marines, zone de topologie accidentée), les visites ultérieures seront espacées entre 3 et 10 ans. Pour les câbles déposés sur le fond marin, qui seront protégés (rock dumping, matelas, etc.), une vérification du tracé sera réalisée tous les 3 ans afin de contrôler que les protections restent bien en place.
330. Les mesures de sécurité appliquées sont édictées par la préfecture maritime et devraient être similaires à celles d'un survey géophysique classique.
331. Les moyens maritimes sont ceux d'un survey géophysique classique.
332. En complément, des levés topographiques seront réalisés à l'atterrage.
333. La fréquence de suivi sera validée par les services gestionnaires du Domaine Public Maritime en lien avec RTE, dans le cadre de la convention de concession.

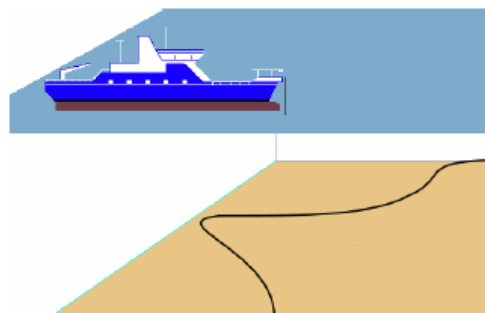
4.5.6.2 MAINTENANCE CURATIVE

334. En cas de défaut sur un câble situé en pleine mer, la réparation peut prendre un temps variable en fonction de la durée d'affrètement du navire de pose.
 - Lorsque le défaut sur le câble est localisé, une première coupe du câble intervient pour isoler la partie endommagée du câble non endommagé.
 - Un test est effectué sur l'extrémité ainsi créée afin de vérifier que les caractéristiques électriques, optiques et mécaniques sont intègres jusqu'à l'atterrage. Si ce n'est pas le cas, c'est qu'un autre défaut est présent, ce défaut doit donc être trouvé avant la suite de la réparation.
 - Lorsque le test est concluant, l'extrémité est remise à l'eau équipée de bouées pour la maintenir à la surface (ou redéposée au fond), et il est procédé à la même opération avec l'autre extrémité du câble.
335. Lorsque l'on est certain d'avoir supprimé toute la partie endommagée, la fabrication de la première jonction peut commencer. Cette opération est longue (entre 1 et 3 jours) et nécessite que le bateau reste très stable. Lorsque la jonction est réalisée, un test électrique dit « *Time Domain*



Reflectometry » (TDR) ou un test optique dit « *Optical Time Domain Reflectometry* » (OTDR) est effectué pour s'assurer de la réussite de l'opération.

336. La partie du câble réparée est ensuite reposée le long de la route initiale, jusqu'à l'autre extrémité (qui est prête à recevoir la réparation).
337. La même opération est alors effectuée. Après la réparation de la deuxième partie du câble, un test sur toute la longueur de la liaison est effectué. S'il est concluant, alors le câble peut être redéposé.
338. Cependant, la réparation provoque une surlongueur (à minima deux fois la profondeur) et le câble ne peut être redéposé de la même manière qu'initialement. La surlongueur est donc reposée à 90° par rapport à l'axe de la liaison initiale.
339. Les éventuelles opérations de protection du câble sont effectuées par la suite.
340. Il faut compter entre 15 et 25 jours d'opérations en mer pour la réparation du câble, à partir d'un moyen maritime de pose de câble léger. Les mesures de sécurité prises sont édictées par la préfecture maritime et devraient être les mêmes que pendant les opérations de pose et protection initiale.
341. Si un ré-ensouillage est nécessaire, les techniques mises en œuvre et les moyens associés sont ceux décrit précédemment dans le document.



4.5.7 GESTION DES POLLUTIONS ET DES DECHETS

4.5.7.1 POLLUTIONS DES EAUX

342. Des déchets ou effluents (huiles de vidange, etc) de l'activité de maintenance seront générés :
 - en mer, lors des interventions sur les éoliennes et le poste électrique ;
 - à terre, au sein de la base portuaire.
343. La construction, l'exploitation et le démantèlement du parc sont susceptibles de générer des pollutions accidentelles des eaux :
 - rejet de déchets ;
 - rejet d'eaux usées ;
 - fuite d'hydrocarbures ou autres substances polluantes.
344. Conformément à la convention MARPOL (convention internationale concernant la pollution de la mer, élaborée dans le cadre de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) en 1978), une politique Hygiène, Sécurité, Environnement (HSE) sera appliquée à bord des navires et engins utilisés. L'application de cette politique permettra de limiter le risque de pollution accidentelle des eaux.

4.5.7.2 GESTION DES DECHETS

345. En phase de construction et démantèlement, les déchets seront triés, stockés à bord et évacués à terre vers des filières spécialisées. Les navires subiront régulièrement des opérations de contrôle et maintenance pour éviter toute fuite de substances nocives vers le milieu marin.
346. Différents déchets seront générés dans le cadre des activités de maintenance, en mer lors des interventions sur les aérogénérateurs et la sous-station électrique, et à terre au sein de la base portuaire de maintenance.

4.5.7.2.1 DECHETS GENERES EN MER

347. Les déchets générés par les activités de maintenance en mer seront conditionnés dans l'aérogénérateur ou dans le poste électrique en vue de leur transbordement vers le navire de transfert ou l'hélicoptère, le cas échéant. Ils seront ensuite acheminés vers la base portuaire afin d'y être stockés puis évacués vers la filière de traitement adaptée. Des conditionnements adaptés (caisses, conteneurs,...) seront conçus pour le transbordement des déchets.

4.5.7.2.2 DECHETS GENERES SUR LA BASE PORTUAIRE

348. Les déchets générés par les activités de maintenance sur la base portuaire y seront directement stockés puis évacués vers les filières de traitement adaptées. Ils seront de nature suivante :

- déchets non dangereux : emballages non-contaminés, déchets organiques, autres déchets non dangereux ;
- déchets dangereux : graisses, huiles, emballages contaminés, autres déchets dangereux.

349. La base portuaire de maintenance disposera d'aires de stockage dédiées, conçues et dimensionnées dans le respect de la réglementation en vigueur.

4.5.7.2.3 MATERIAUX UTILISES, RESIDUS ET EMISSIONS ATTENDUS, RESULTANT DU FONCTIONNEMENT DU RACCORDEMENT

350. Le fonctionnement normal des ouvrages du réseau de transport d'électricité ne nécessite pas d'apport de matière première.

351. Le fonctionnement de la liaison sous-marine et souterraine ne produit aucun résidu ou émission.

352. Dans le poste de raccordement, certains appareils électriques ont recours pour leur fonctionnement au gaz hexafluorure de soufre (SF6) qui fait l'objet d'un développement spécifique au fascicule B2.

4.6 CONDITIONS DE DEMANTELEMENT ENVISAGEES

4.6.1 ELEMENTS REGLEMENTAIRES APPLICABLES

354. Les principaux textes législatifs et réglementaires et traités internationaux concernant le démantèlement sont les suivants :

Textes	Applications
Code général de la propriété des personnes publiques, article R2124-2 et R2124-8	Le titulaire de la concession est tenu d'assurer une « réversibilité effective des modifications apportées au milieu naturel » lors de l'arrêt définitif de l'installation
Code de l'Environnement, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances (Partie législative) Titre IV : Déchets	Le Code définit le cadre général de la réglementation sur les déchets, générés par le démantèlement Il hiérarchise par ordre de priorité : la prévention, la préparation en vue du réemploi, le recyclage, la valorisation et l'élimination des déchets
Code de l'environnement, L214-3-1	« Lorsque des installations, ouvrages, travaux ou activités sont définitivement arrêtés, l'exploitant ou, à défaut, le propriétaire remet le site dans un état tel qu'aucune atteinte ne puisse être portée à l'objectif de gestion équilibrée de la ressource en eau défini par l'article L. 211-1. Il informe l'autorité administrative de la cessation de l'activité et des mesures prises. Cette autorité peut à tout moment lui imposer des prescriptions pour la remise en état du site, sans préjudice de l'application des articles L. 163-1 à L. 163-9 et L. 163-11 du code minier. »
Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS, 1982)	La partie II « mer territoriale et zone contiguë » gère les conditions de navigation et de sécurité des chantiers La partie XII « protection et préservation du milieu marin » gère les objectifs de protection du milieu
Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, article 60	Les installations en mer doivent être démantelées en fin de vie

Tableau 14 : Synthèse des principaux textes réglementaires pour le démantèlement

355. Deux guides sont également applicables :

- *Guidelines and standards for the removal of offshore installations and structures on the Continental Shelf and in the exclusive economic zone*, Organisation Maritime Internationale (IMO), 19 octobre 1989
- *Guidance documents on offshore wind farms by the OSPAR Commission - Protecting and conserving the North-East Atlantic and its resources*

356. Le cahier des charges de l'appel d'offres sur l'éolien en mer dispose en son article 6.5 que 5 ans au plus tard avant la date de fin de l'exploitation, le maître d'ouvrage en informe le préfet ayant délivré l'autorisation d'occupation du domaine public maritime. Les travaux effectifs de démantèlement et de remise en état doivent être réalisés conformément aux stipulations de la convention de concession ou, le cas échéant, aux décisions du ou des préfets de département compétents, aux termes des dispositions du décret n°2004-308 du 29 mars 2004 relatif aux concessions d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports.

357. A cette fin, le maître d'ouvrage doit réaliser au plus tard 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, en

tenant compte des enjeux liés à l'environnement, aux activités, et à la sécurité maritime. S'il lui apparaît nécessaire de compléter ou modifier les termes de la convention de concession, le préfet précisera la date à laquelle cette étude devra lui être fournie.

358. L'article 6.1 du cahier des charges de l'appel d'offres sur l'éolien en mer précise qu'avant la mise en service, le titulaire, c'est-à-dire EMF, doit constituer des garanties financières pour le démantèlement du parc éolien. Le montant garanti ne peut être inférieur à 50 000 € par MW installé, soit 24 M€ pour le parc éolien au large de Saint Nazaire.

4.6.2 OBJECTIFS DU DEMANTELEMENT ET DE REMISE EN ETAT DU SITE

359. Le démantèlement doit prévoir la remise en état, la restauration ou la réhabilitation des lieux, et assurer la réversibilité des modifications apportées au milieu naturel et au site (article R2124-2 du code général de la propriété des personnes publiques). L'étude portant sur l'optimisation des conditions du démantèlement et de la remise en état du site déterminera la solution de moindre impact environnemental, intégrant les dernières évolutions techniques au regard de la réglementation en vigueur au jour du démantèlement.

360. Trois objectifs opérationnels sont recherchés :

- Retour à un état proche de l'état initial au point de vue physique (morphologie des fonds, conditions hydrodynamiques) et chimique (composition de l'eau et des sédiments) ;
- Retour à un état proche ou meilleur de l'état biologique initial; une étude spécifique sera notamment menée pour savoir si l'effet récif des fondations peut être pérennisé au-delà du démantèlement du parc ;
- Retour à un état initial pour les usages de la zone, notamment la pêche, les usages de loisir et la circulation maritime.

4.6.3 SEQUENÇAGE DES OPERATIONS DE DEPOSE

361. Le choix du séquençage de la dépose de chaque composant sera arrêté à l'issue de la phase d'exploitation (en concertation avec les services de l'Etat), en tenant compte notamment de :
- l'état des structures, en particulier les fondations (inspections par ROV ...) ;
 - l'évolution des moyens techniques de dépose et de recyclage des composants du parc, en particulier les techniques de moindres impacts environnementaux ;
 - des infrastructures portuaires présentes au moment des opérations de démantèlement.
362. Le séquençage des opérations en mer de dépose est détaillé, pour chaque élément du parc, dans les paragraphes suivants.

4.6.3.1 OPERATIONS EN MER DE DEPOSE DU PARC

363. Le démantèlement du parc se fera par une séquence proche de celle inverse à l'installation (construction), à savoir, la dépose des éléments suivants :
- Câbles inter éoliennes et les éventuelles protections associées ;
 - Turbines (pales, rotor, nacelle puis mâts) ;
 - Fondations ;
 - Poste électrique (séquence indépendante).
364. Après leur dépose, les éléments seront acheminés vers les infrastructures portuaires afin d'être recyclés.

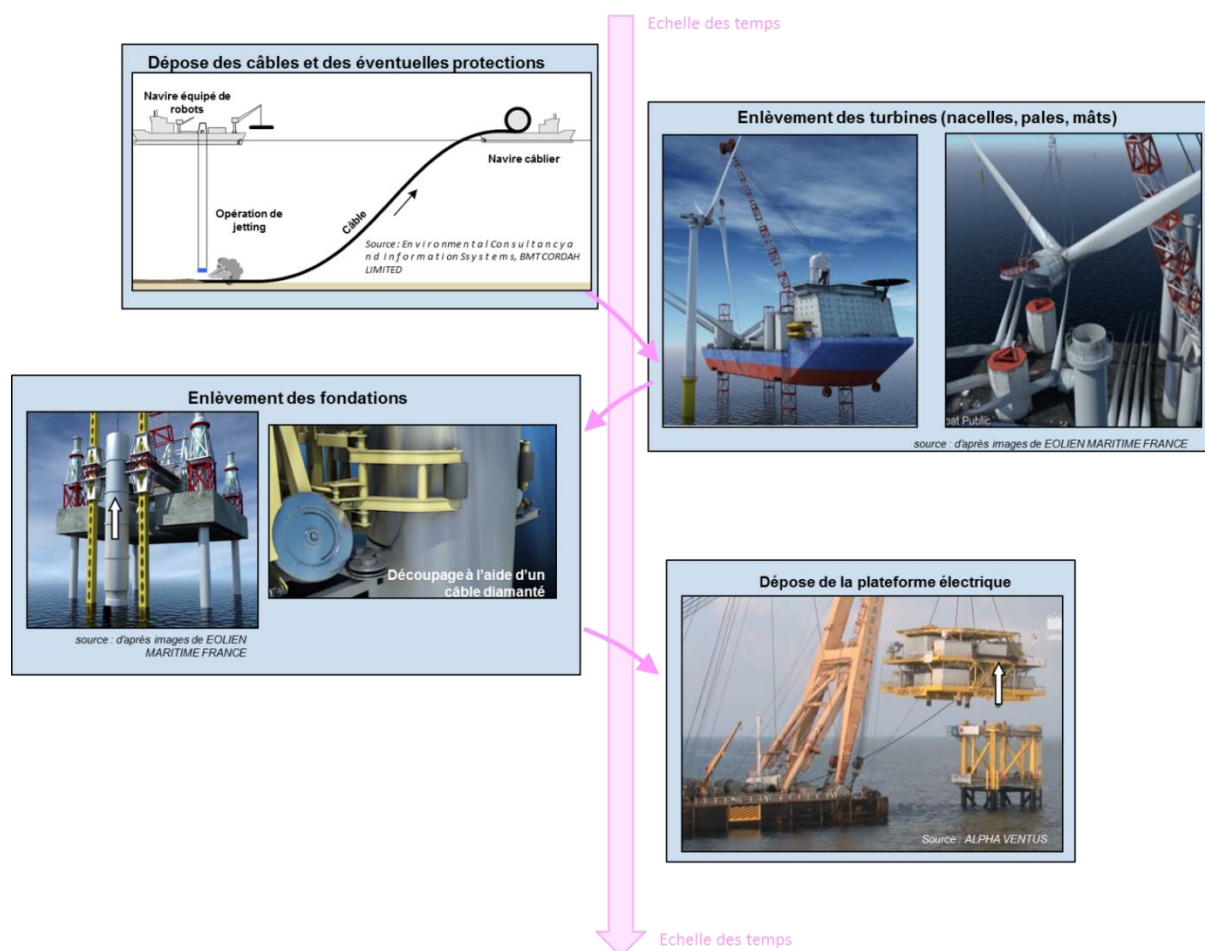


Figure 83 : Séquence de la dépose générale des constituants du parc (source Artelia)

365. Le cahier des charges de l'appel d'offres sur l'éolien en mer dispose en son article 6.5 que 5 ans au plus tard avant la date de fin de l'exploitation, le maître d'ouvrage en informe le préfet ayant délivré l'autorisation d'occupation du domaine public maritime. Les travaux effectifs de démantèlement et de remise en état seront réalisés conformément aux dispositions de la convention de concession ou, le cas échéant, aux décisions du ou des préfets de département compétents, aux termes des dispositions du décret n°2004-308 du 29 mars 2004 relatif aux concessions d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports.
366. A cette fin, le maître d'ouvrage doit réaliser au plus tard 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, en tenant compte des enjeux liés à l'environnement, aux activités, et à la sécurité maritime. S'il lui apparaît nécessaire de compléter ou modifier les termes de la convention de concession, le préfet précisera la date à laquelle cette étude devra lui être fournie.

4.6.3.2 DEPOSE DES CABLES INTER-EOLIENNES

367. Les câbles électriques inter-éoliennes seront enfouis dans le sol marin ou protégés par des enrochements ou des coquilles, selon la nature des fonds. Deux méthodologies de dépose sont envisageables :
- Dépose des câbles ensouillés : les travaux se dérouleraient à l'avancement. Ils pourraient être réalisés à l'aide :
 - D'un navire de désensouillage (charrue, *jetting*, trancheuse mécanique, ROV...);

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

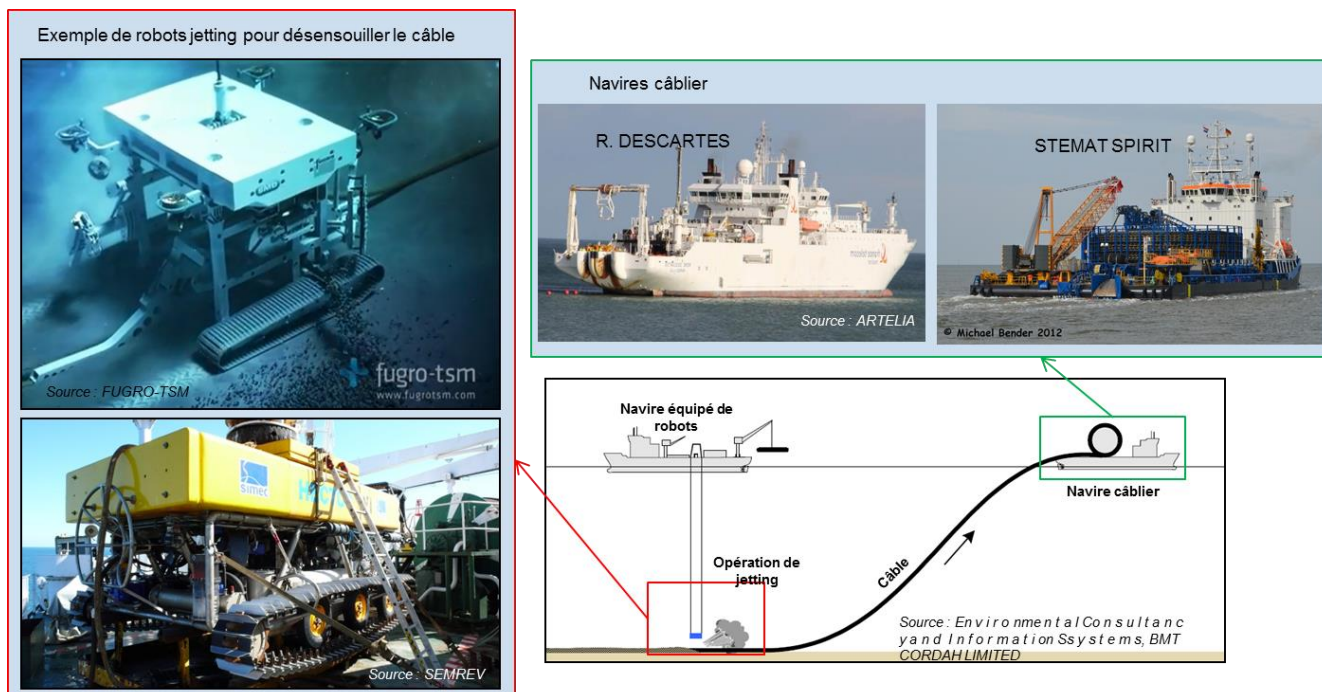


Figure 84 : Dépose des câbles ensouillés

- Dépose des câbles protégés (excepté si leur enlèvement cause plus d'effet à l'environnement que de les laisser sur place) : le séquençage sera semblable à celui des câbles enfouis, à savoir des travaux à l'avancement. Cependant, préalablement, une barge équipée d'une grue avec grappin/godet aura enlevé les enrochements positionnés sur les câbles. Les enrochements pourraient être acheminés jusqu'aux sites portuaires par barges.

4.6.3.3 DEPOSE DE LA LIAISON DE RACCORDEMENT SOUS-MARINE

368. Actuellement la méthodologie d'enlèvement des câbles est assez proche de l'inverse de celle appliquée pour lors de la pose. Ces travaux de démantèlement impliquent les opérations suivantes :
- l'ouverture de la tranchée pour le désensouillage à l'aide de moyens équivalents à l'ensouillage ;
 - le retrait des protections externes si elles ont été installées lors de la pose des câbles ;
 - la récupération du câble en l'enroulant ou en le débitant sur un navire ;
 - la revalorisation des matériaux (cuivre, acier...) suivant les procédés favorisant la réutilisation, la régénération, le recyclage et traitement des déchets résiduels dans les filières industrielles adaptées.
369. L'ensemble de ces opérations qui inclut la gestion de la sécurité en mer sera réalisé suivant les meilleures conditions environnementales, techniques et économiques dans le respect de la réglementation en vigueur au jour du démantèlement.

4.6.3.4 DEPOSE DES EOLIENNES

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

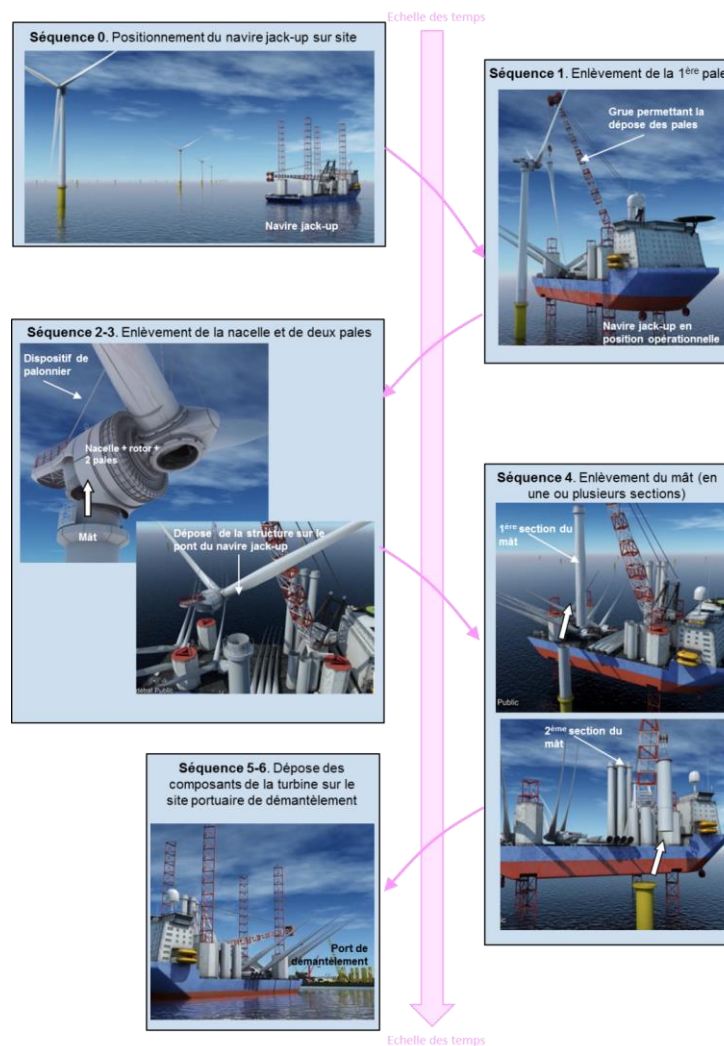


Figure 85 : Séquençage des opérations de dépose de la turbine (source Artelia, d'après images EMF)

4.6.3.5 DEPOSE DES FONDATIONS

371. La dépose de la fondation monopieu consiste à découper le pieu à l'aide de robots sous-marins, puis à déposer la structure sur une barge afin qu'elle soit transportée jusqu'au site portuaire. Les moyens nautiques envisagés pour la dépose des monopieux pourraient donc être :
- Navire équipé de moyens de levage (type navire *jack-up*), avec robots sous-marins pour le découpage des structures ;
 - Navires/barges de transport.

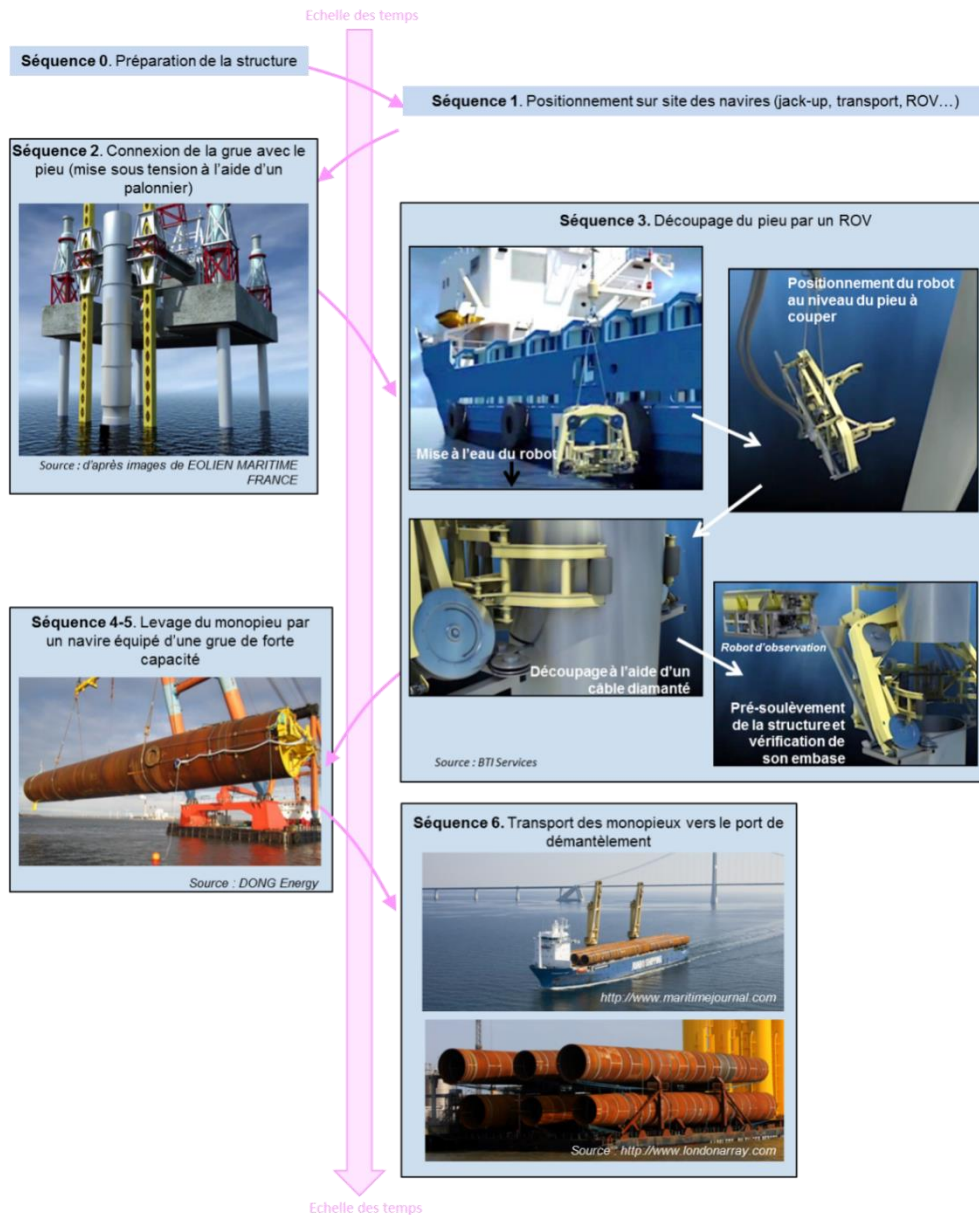


Figure 86 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la fondation monopieu (source Artelia)

372. Le monopieu sera découpé au niveau du sol.

4.6.3.6 DEPOSE DU POSTE ELECTRIQUE

373. Le séquençage de la dépose de la sous-station électrique est assez semblable à celui de la dépose d'une éolienne (turbine et fondation), à savoir la dépose de la plateforme puis celle de la fondation. Cependant, les capacités de levage et de transport nécessaires sont plus importantes.

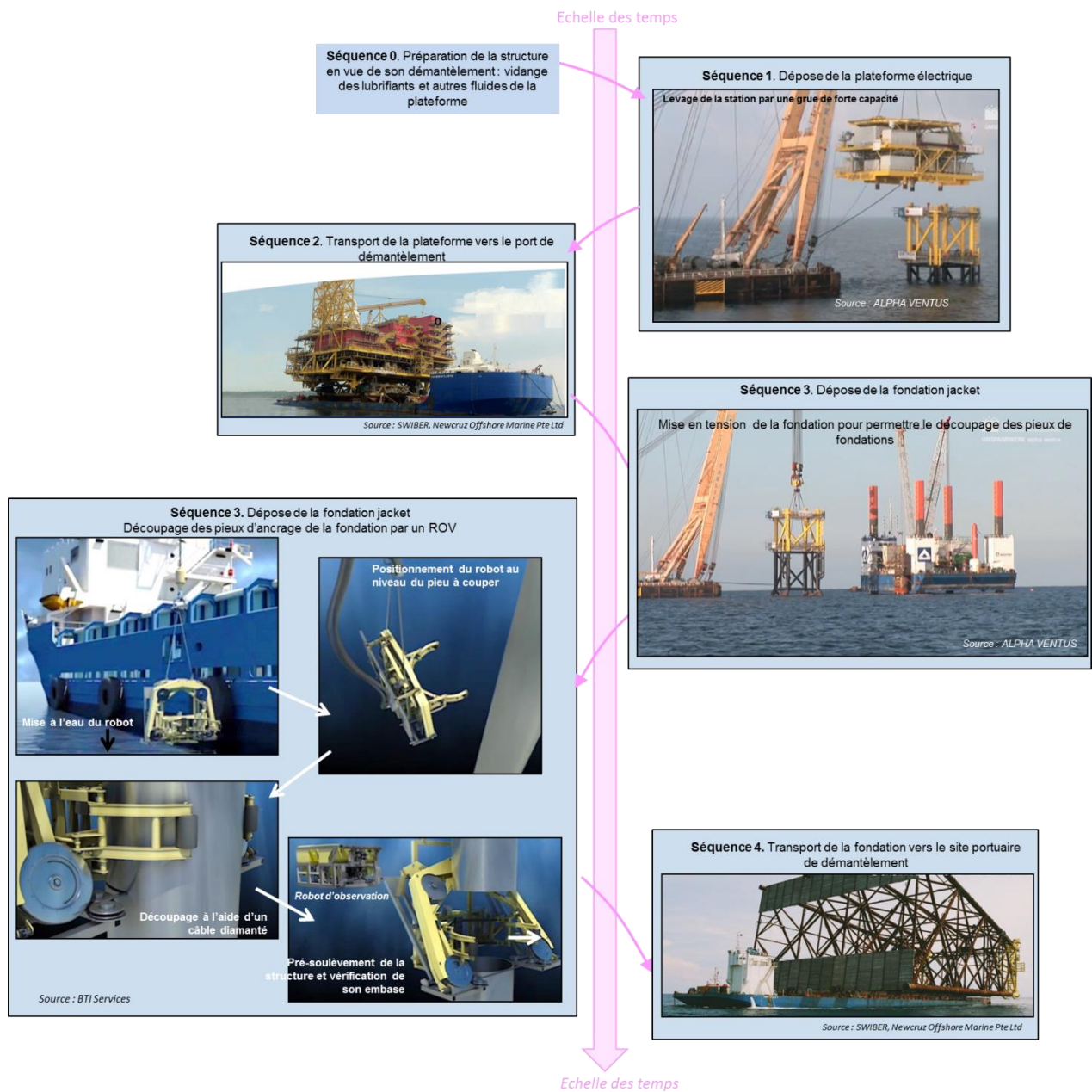


Figure 87 : Séquençage des opérations en mer de dépose de la sous-station électrique (source Artelia)

4.6.4 MOYENS LOGISTIQUES PORTUAIRES A PROXIMITE DU PARC

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

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

- Les ports susceptibles d'accueillir les matériaux à recycler (si différents des précédents).
375. Le choix final dépendra des espaces disponibles au moment des travaux et du développement industriel de la logistique liée à la filière de valorisation.

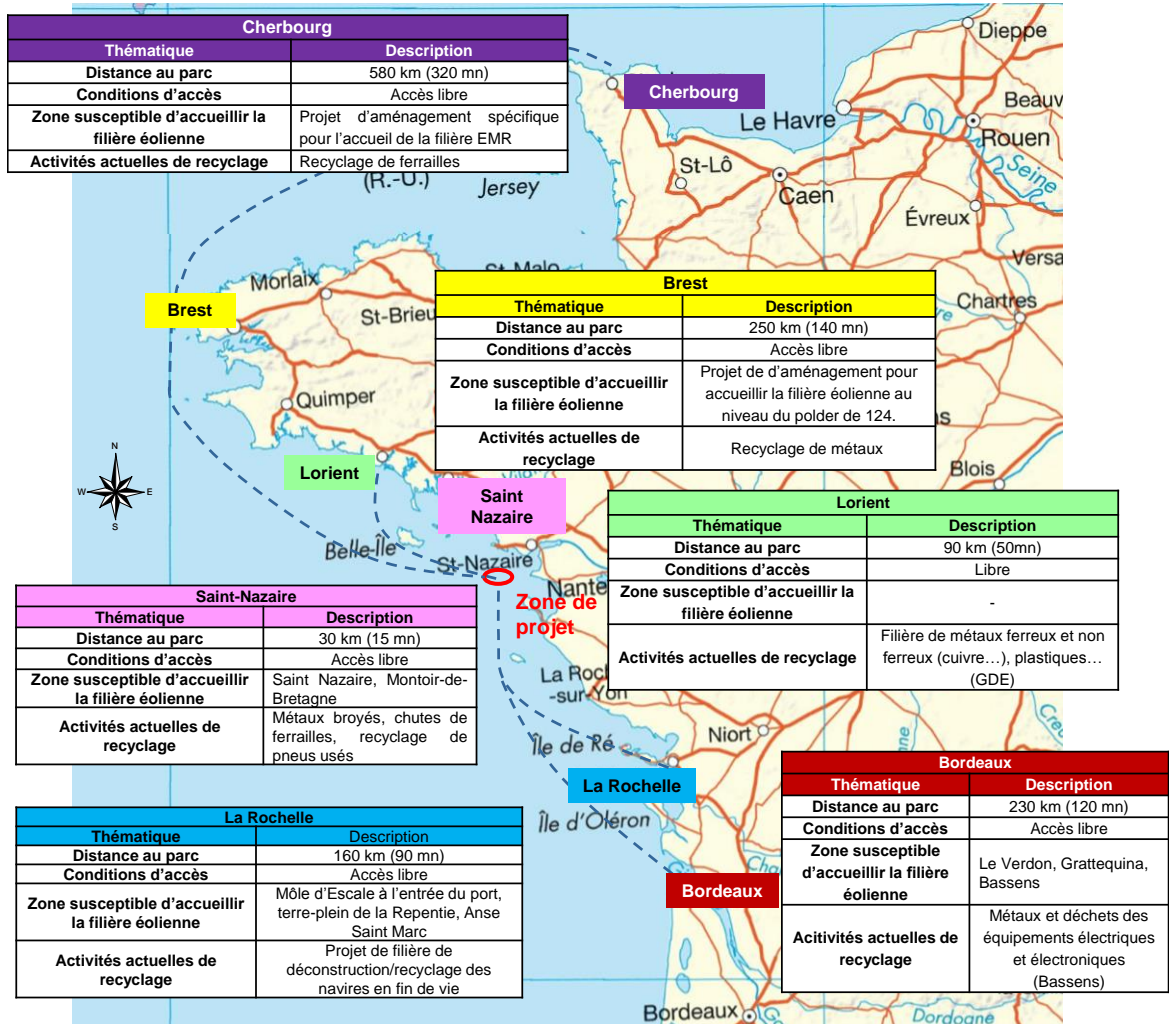


Figure 88 : Synthèse des ports susceptibles d'accueillir la filière démantèlement (source Artelia / Geoportail)

4.6.5 PLANNING DES OPERATIONS EN MER DE DEPOSE

376. Le planning des travaux maritimes de dépose dépendra fortement des conditions océanographiques : une hauteur de houle (tenue des navires en opération), des vitesses de vent (perturbation des opérations de levage) et des courants (tenue des navires en opération) trop importants peuvent empêcher les opérations nautiques de se dérouler. Ces indisponibilités météorologiques dépendent du type de moyens nautiques utilisés pour la dépose ; elles peuvent atteindre en moyenne 30%.
377. La durée totale des opérations en mer est estimée, actuellement, à 3 ans.

Opérations de dépose	1 ^{ère} année												2 ^{nde} année												3 ^{ème} année												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Câbles	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																									
Turbines					■	■	■	■	■	■	■	■																									
Fondations													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Station électrique																													■								

Figure 89 : Planning prévisionnel pour la dépose du parc (approche préliminaire) (source Artelia)

4.6.6 RECYCLAGE DES ELEMENTS CONSTITUANT LE PARC

378. Concernant le traitement des déchets issus du démantèlement, le maître d'ouvrage s'est fixé trois objectifs opérationnels :
- Privilégier la réutilisation en premier lieu, puis le recyclage matière, puis la valorisation énergétique et enfin l'élimination des déchets selon les meilleures techniques disponibles
 - Non exportation de déchets vers un pays tiers
 - Non saturation des filières mises en place par les Plans Régionaux d'Elimination et de Gestion des Déchets (ou document ultérieur les remplaçant)
379. L'analyse du recyclage a porté sur les volumes de matériaux engendrés par les opérations de démantèlement et sur les filières potentielles de recyclage. Il convient de préciser que cette analyse correspond à un état des lieux en 2014 des filières existantes. Certaines filières sont actuellement en plein développement et devront être adaptés aux besoins nouveaux, générés par la filière éolienne offshore (c'est le cas, par exemple, des matériaux composites dont les actions R&D sur le développement des filières sont nombreuses).

4.6.6.1 MATERIAUX CONSTITUANTS LE PARC

380. Le recyclage des constituants du parc génère entre 0,3 et 0,4 millions de tonnes de matériaux.

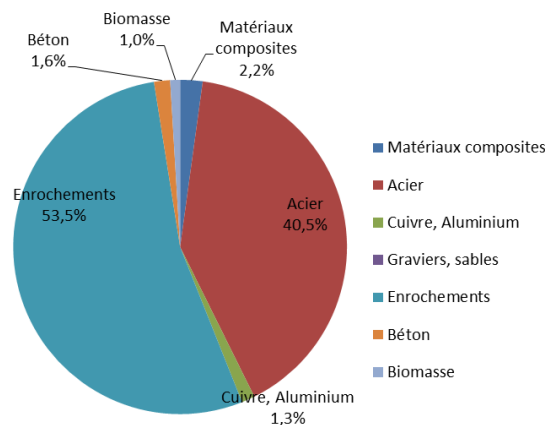


Figure 90 : Répartition des matériaux pour l'ensemble du parc (Source ARTELIA, d'après données EDF-EN)

4.6.6.2 FILIERES DE RECYCLAGE

381. L'objectif du plan de démantèlement en matière de gestion des produits en fin de vie est de proposer, dans les conditions du moment, les meilleures solutions techniques et économiques, respectant la réglementation. Le tableau ci-après décrit les moyens / équipements de recyclage ainsi que les opérations de prétraitement / traitement ; ceci pour chaque filière. Au final, potentiellement plus de 95% des matériaux peuvent être recyclés ou valorisés thermiquement.

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

Tableau 15 : Synthèse des filières de recyclage (source Artelia)

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

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

4.6.6.3 OPERATIONS DE RECYCLAGE

383. Quand les matériaux arriveront sur les ports, ceux-ci seront immédiatement pris en charge, prétraités, reconditionnés pour être acheminés vers les sites de traitement.

384. Le transport vers les unités de prétraitement est un des postes ayant un fort impact économique sur chaque filière. Ainsi, la solution privilégiée serait d'acheminer directement les produits démantelés vers ces unités. Cela implique que ces centres de prétraitement se situent déjà sur une zone portuaire ou à proximité ou que l'on organise sur le lieu de dépose une activité de pré-traitement.

4.7 CALENDRIER PREVISIONNEL

385. Les calendriers présentés ci-après sont prévisionnels et seront susceptibles d'être modifiés en fonction des appels d'offre, des solutions retenues et des conditions météorologiques.
386. Le calendrier a été défini dans l'objectif d'une mise en service progressive du parc éolien au large de Saint-Nazaire entre 2018 et 2020, conformément aux exigences du cahier des charges de l'appel d'offres de l'Etat n° 2011/S 126-208873 portant sur des installations éoliennes de production d'électricité en mer en France métropolitaine. Les premiers travaux d'aménagements portuaires commenceront en 2016 à Saint-Nazaire, et l'installation en mer en 2018.

4.7.1 AVRIL 2012 – OCTOBRE 2013 : LEVEE DES RISQUES

387. Le cahier des charges de l'appel d'offres a prévu une phase dite de « levée des risques » de 18 mois à compter de la notification du choix du lauréat (soit du 23 avril 2012 au 23 octobre 2013). L'objectif de cette phase était d'identifier les éventuels risques de non-réalisation du projet ou de retard dans la mise en service du projet.
388. Le maître d'ouvrage a réalisé à cet effet des études pour confirmer ses choix techniques. Il s'agissait en particulier :
- des études sur la profondeur d'eau, le relief et la nature des fonds marins de la zone afin de déterminer les options techniques pour les fondations des éoliennes et pour les câbles électriques ;
 - des études océanographiques et météorologiques nécessaires à la réalisation des ouvrages et permettant d'évaluer la production d'électricité des installations ;
 - de l'étude sur les moyens de surveillance de la navigation maritime au sein et à proximité du parc ;
 - des premiers résultats des études environnementales engagées ;
 - de l'avancement des études d'impact socio-économique du projet.

4.7.2 OCTOBRE 2013 – MI 2016 : ETUDES, DEMANDES D'AUTORISATIONS & DECISIONS SUR LE PROJET

389. A l'issue du débat public qui s'est déroulé du 20 mars 2013 au 20 juillet 2013, le maître d'ouvrage a décidé de poursuivre le projet, par une décision rendue publique le 18 novembre 2013. Il lui incombe ensuite de déposer les demandes d'autorisations nécessaires à sa réalisation, parmi lesquelles une demande de concession d'utilisation du domaine public maritime et une demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau, nécessitant la réalisation d'une étude d'impact.
390. La conception détaillée du projet est réalisée en parallèle. Le plan industriel et le plan de formation associés seront mis en place. Sous réserve de l'obtention des autorisations finales, le maître d'ouvrage prendra sa décision finale d'investissement au cours de l'année 2016.

4.7.3 2016 – 2019 : CONSTRUCTION DU PROGRAMME

391. La période de 2016 à 2019 sera celle de la construction du parc éolien en mer et des infrastructures associées. Les travaux d'aménagement portuaire et de construction des équipements à terre démarreront en 2016. L'installation des fondations et celle des éoliennes en mer débuteront en 2018.

Tableau 16 : Calendrier prévisionnel du programme (source Natural Power d'après EMF et RTE)

		2015			2016					2017					2018					2019																	
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Instruction et autorisations administratives																																					
Raccordement	Création poste électrique à terre																																				
	Travaux liaison souterraine																																				
	Travaux liaison sous-marine / Génie civil Atterrage / Câbles																																				
Parc éolien	Installation poste électrique en mer																																				
	Installation fondations et pièces de transitions																																				
	Installation câbles inter-éoliennes																																				
	Installation éoliennes																																				

4.7.4 2018 – 2020 : DEMARRAGE PROGRESSIF DE L'EXPLOITATION

392. L'exploitation du parc démarrera progressivement dès 2018, pour une mise en service complète en 2020.
393. La durée du contrat d'achat, par EDF, de l'électricité produite par le parc éolien, est fixée par le cahier des charges de l'appel d'offres à 20 ans à compter de la mise en service de chacune des tranches. Le maître d'ouvrage pourra, s'il le souhaite, continuer à exploiter le parc éolien au-delà de cette période par la vente de sa production sur le marché de l'électricité. La durée maximale de la concession étant de 30 ans, période pendant laquelle seront effectués les travaux avant la mise en service du parc éolien, si le maître d'ouvrage souhaite prolonger l'exploitation au-delà de la durée initiale de la concession, il devra en solliciter le renouvellement. À l'issue de la période d'exploitation, le parc éolien en mer sera démantelé.

5 NOMS & QUALITÉ DES AUTEURS

DE L'ÉTUDE D'IMPACT

5 NOMS & QUALITE DES AUTEURS

5.1 RESUME NON TECHNIQUE, FASCICULES A & C



Bureau d'études de 300 personnes et de 20 années d'expérience en conseils en énergies renouvelables.

Nathalie Tertre

Chargé d'études en environnement marin : réalisation, coordination et rédaction des expertises nécessaires à l'appréciation des impacts de projets sur le milieu marin.

Simon Pareige

Chargé d'études en environnement marin pour des projets éoliens en mer, rédaction des évaluations environnementales

Grégoire Durand

Responsable offshore France : conseiller dans le secteur de l'éolien en mer, designer, coordinateur d'audits ; suivis des sous-traitants en charge d'études techniques et environnementales.

5.2 FASCICULE B1 : PARC EOLIEN



Christophe Donnard,

Océanographe, spécialiste de la gestion de l'environnement en milieu marin et littoral. Il est en charge de la direction de l'étude d'impact au sein de Créocéan.

Ronan Launay

Ingénieur en environnement littoral et marin, spécialiste en dynamique des écosystèmes aquatiques.

Enored Le Bourhis

Chargée d'Etudes en Environnement.



Philippe Pervès

Spécialiste des études environnementales en milieu marin.

Emilie Hervé

Spécialisée dans le pilotage de projets en environnement marin ; chef de projet, pilote les études environnementales et coordonne la réalisation des dossiers environnementaux.

Benoît Figarède

Biologiste marin. Chef de projet pêche professionnelle, coordonne les études halieutiques et les relations avec les pêcheurs professionnels.

Alice Simonin

Chargée d'études environnement et caractérisation de sites

Alan Guillouzo

Cartographe, géomatique.

5.3 FASCICULE B2 : RACCORDEMENT

Etudes réglementaires	Nom / Adresse	Etudes	Personnes intervenants	Qualité	Mission
Mandataire	TBM (SARL Chauvaud) 6 rue Ty Mad 56400 Auray	Etudes réglementaires Etude d'impact Loi sur l'Eau Dossier de concession du DPM Incidences Natura 2000	E. Jaouen	Eco-conseillère	Chef de projet / rédacteur / Validation
			D.Le Brazidec	Chargé de mission	Rédacteur
			J-C. Schnebelen	Chargé de mission	Rédacteur
			C.Morvan	Technicien ornithologue	Rédacteur
			S. Bonifait	Ecologue	Rédacteur / validation
			A. LeBellour	Cartographe /SIG	SIG
			S. Chauvaud	Gérant/Biologiste marin	Validation
Co-traitant	HOCER 1 place de Strasbourg 29200 Brest	Etudes réglementaires : Milieu physique marin	F. Pluquet	Sédimentologiste	Rédacteur
			N. Chini	Océanographe	Rédacteur
Sous-traitant (1)	Guillaume Sevin Paysages 15 bd St-Michel 49100 Angers	Etudes réglementaires : Paysage	C. Corbin	Ingénieur Paysagiste	Chargée de projet / rédacteur
Sous-traitant (2)	ECR 5 rue des Clairières 44840 Les Sorinières	Etudes réglementaires : Eaux et milieux aquatiques Poste	T. Decreton	Chargé d'études	Rédaction
			E. Rivé	Chargée d'affaires	Chef de projet / Validation
Sous-traitant (3)	SOMME 6 rue Ty Mad 56400 Auray	Expertise / Modélisation acoustique marin	C. Gervaise	Chercheur en acoustique sous-marine	Expertise / Modélisation / Rédaction

Autres Etudes	Nom / Adresse	Etudes	Personnes intervenants	Qualité	Mission
Inventaires milieu marin	TBM (SARL Chauvaud)	Inventaires milieu marin	B. Guyonnet	Chargé de mission Faune / Benthologue	Terrain / Détermination/ Statistique / Rédaction
			D. Borg	Technicien mer	Terrain / Tri
			J. Castera	Chargée de mission mer	Tri
Inventaires Faune/flore terrestre	TBM (SARL Chauvaud)	Inventaires Faune/flore terrestre	S. Bonifait	Ecologue	Rédaction / Validation / Inventaire
			B. Guyonnet	Chargé de mission Faune	Rédaction / Inventaire
			M. Roche	Chargé de mission naturaliste	Rédaction / Inventaire
			M. Fillan	Chargé de mission naturaliste	Rédaction / Inventaire
			I. Larvor	Chargé de mission naturaliste	Rédaction / Inventaire
			C. Morvan	Technicien Ornithologue	Inventaire
			J. Gibert	Cartographe / Ingénieur agronome	Cartographie / Inventaire zone humide
A. Le Bellour	Cartographe / SIG	SIG			
Inventaire ichtyofaune marine	TBM (SARL Chauvaud)	Inventaire ichtyofaune	B. Guyonnet	Chargé de mission Faune	Inventaire / Validation
			D. Borg	Technicien mer	Inventaire
			J. Castera	Chargée de mission mer	Inventaire / Rédaction
			Y. Patry	Ingénieur de recherche	Inventaire
Etude hydraulique du poste de raccordement	ECR	Etude hydraulique du poste de raccordement	J. Himbert	Chargé d'études	Rédaction
			N. Bouchereau	Chargé d'affaires	Chef de projet / Validation

