

2 LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET



Issu de plusieurs années de concertation avec les acteurs du territoire concernés, le projet de parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer est situé à plus de dix kilomètres des côtes à l'écart des zones de pêche les plus riches et de l'axe visuel du site classé d'Arromanches. Avec 75 éoliennes de 6 mégawatts chacune, distantes d'environ 1 kilomètre les unes des autres, sa production annuelle serait de 1 500 gigawattheures. Il serait raccordé au réseau électrique national par des câbles sous-marins. Les éoliennes seraient fabriquées par Alstom à Saint-Nazaire et Cherbourg et une base de maintenance est prévue dans le port de Caen-Ouistreham.

2.1. LE CHEMINEMENT VERS LE PROJET PROPOSÉ

Le projet de parc éolien en mer, tel qu'envisagé aujourd'hui et issu de l'appel d'offres, résulte d'un travail engagé depuis plusieurs années afin de prendre en compte au mieux les spécificités du territoire.

2.1.a. UN CONTEXTE FAVORABLE AU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN EN MER

» Avec 470 kilomètres de côtes, la Basse-Normandie est l'une des principales régions maritimes françaises.

En Basse-Normandie, la mer et le littoral sont sources de nombreuses activités économiques : la pêche (3^{ème} rang national en volume et 2^{ème} en valeur), la culture des coquillages (2^{ème} place au niveau national), le trafic transmanche (1,6 million

de passagers) ou encore le tourisme. Par ailleurs, les activités liées à la construction navale et à la plaisance ont permis la structuration d'une filière nautique. La pêche et la culture des coquillages, la transformation des produits de la mer et la construction navale représentent environ 10 000 emplois directs.

Les collectivités de Basse-Normandie multiplient les initiatives pour développer les énergies marines renouvelables. En 2011, le Conseil régional de la Basse-Normandie, le Conseil général de la Manche et la communauté urbaine de Cherbourg ont créé Ouest Normandie Énergies Marines, une société publique locale vouée à promouvoir le territoire auprès des acteurs spécialisés dans les énergies marines renouvelables, et à structurer une filière industrielle dans ce secteur d'activité. En janvier 2012, un délégué général aux énergies marines renouvelables a été désigné pour l'ensemble de la région.

Syndicat mixte regroupant le Conseil régional de Basse-Normandie et les Conseils généraux de la Manche et du Calvados, Ports Normands Associés a engagé des démarches pour

se doter d'infrastructures portuaires performantes permettant l'accueil d'une filière industrielle des énergies marines :

- ▶ prolongement à Cherbourg du quai des Flamands de 220 mètres vers le sud pour accueillir des navires de chargement d'éoliennes ;
- ▶ libération de 44 hectares sur le port pour l'implantation de la production industrielle et la création d'une zone d'assemblage ;
- ▶ extension de 35 hectares des terre-pleins en grande rade à Cherbourg pour héberger la filière hydrolienne en particulier ;
- ▶ aménagement de l'avant-port de Caen-Ouistreham pour recevoir des navires de maintenance.

Les caractéristiques de l'espace maritime au large de Courseulles-sur-Mer sont favorables au développement de l'éolien en mer (important gisement éolien, profondeur inférieure à 30 mètres, capacité d'accueil sur le réseau électrique, etc.). La possibilité de développer un projet de parc éolien en mer y a donc été étudiée, en vue de contribuer aux objectifs français de développement des énergies renouvelables.

Projet d'extension du quai des Flamands du port de Cherbourg



2.1.b. LE PROJET PRÉSENTÉ TIENT COMPTE DES ENJEUX DU TERRITOIRE

Si les paramètres physiques du milieu sont primordiaux pour la faisabilité d'un parc éolien en mer, il est tout aussi essentiel de prendre en compte les dimensions écologiques, paysagères, environnementales et socio-économiques du territoire dans lequel il s'inscrit pour étudier ses modalités d'implantation. La concertation avec les acteurs locaux - élus, administrations, associations locales et pêcheurs - a donc été placée au cœur du développement du projet par le maître d'ouvrage et ses partenaires, dès sa genèse en 2007. L'objectif était d'étudier les différentes possibili-

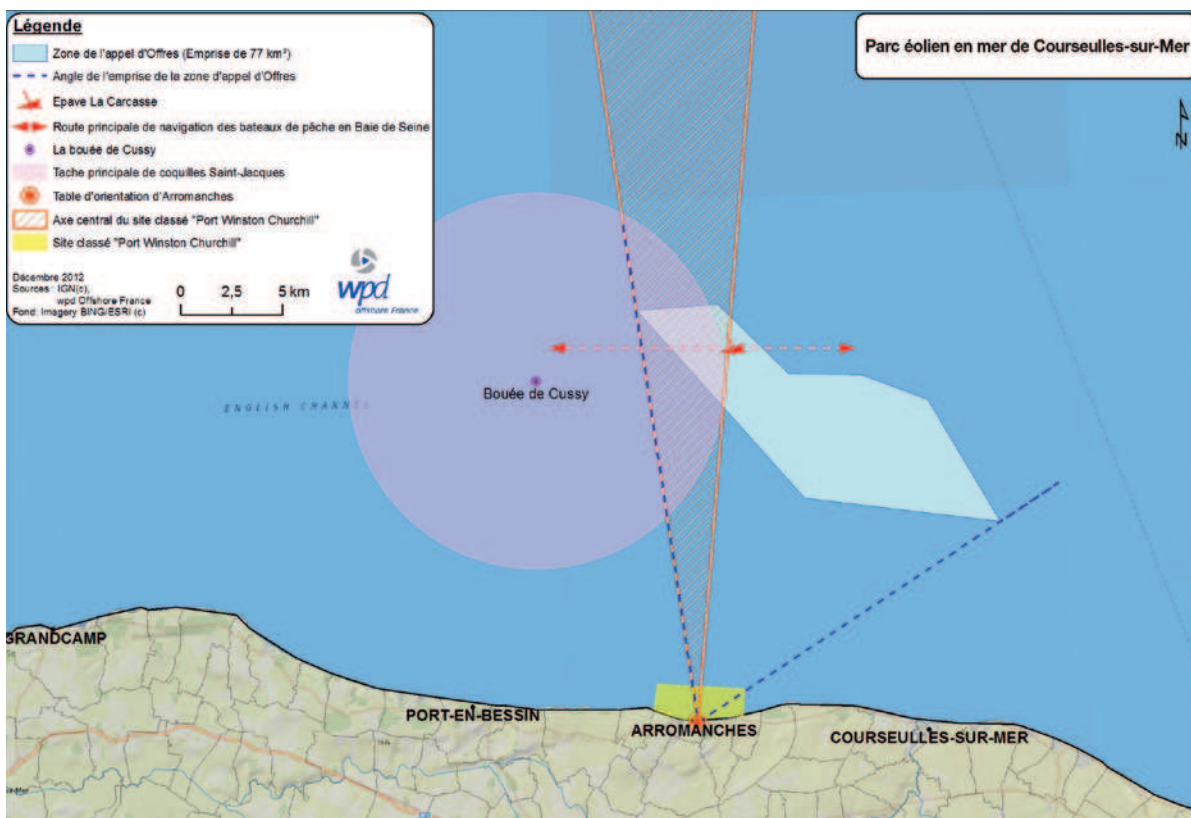
tés de développement d'un projet de parc éolien en mer et d'en définir les conditions optimales d'implantation au regard des particularités locales, tant économiques et touristiques que paysagères et environnementales.

» Une phase de concertation préalable s'est déroulée avant l'appel d'offres de l'État.

Dans la toute première phase d'élaboration du projet, les parties prenantes ont formulé plusieurs recommandations :

- » maintenir la zone du projet à plus de 10 kilomètres de la côte ;
- » écarter la zone du projet de l'axe visuel du site classé d'Arromanches ;

Carte des enjeux identifiés pour la zone d'étude



» limiter l'emprise visuelle globale du projet sur l'horizon ;

» décider de l'implantation du parc avec les représentants des pêcheurs de la baie de Seine.

Les représentants de la pêche professionnelle ont souhaité exclure deux secteurs du périmètre du projet, identifiés lors d'échanges menés au sein d'un groupe de travail « pêche » et lors d'entretiens individuels avec les pêcheurs :

» la zone principale de coquilles Saint-Jacques située autour de la Bouée de Cussy, et plus largement entre Port-en-Bessin et Grand-Camp-Maisy (plus de 200 navires y travaillent durant l'hiver) ;

» la paléovallée ou vallée préhistorique submergée de la Seine (au-delà de la ligne bathymétrique³³ des 30 mètres), qui est un secteur privilégié pour le chalutage, en particulier les zones du « profond » et du « creux ».

Au vu du cahier des charges de l'appel d'offres lancé en 2011, dans lequel l'État imposait une puissance de 420 à 500 mégawatts pour cette zone, le maître d'ouvrage a dû modifier certaines caractéristiques de son projet.

Les acteurs locaux ont précisé leurs enjeux, en formulant des recommandations complémentaires :

» rechercher une optimisation visuelle depuis le site classé d'Arromanches ;

» éloigner le projet à plus de 5 milles nautiques de la bouée de Cussy ;

» maintenir l'ensemble du parc au sud de l'épave dite de « la Carcasse » ;

» installer les lignes d'éoliennes dans l'axe des courants principaux (≈ 100°) ;

» contenir l'emprise globale à 50 km².

33 La bathymétrie est l'équivalent sous-marin de la topographie, c'est-à-dire description du relief sous-marin grâce aux mesures de profondeurs.

» Partager le retour d'expérience

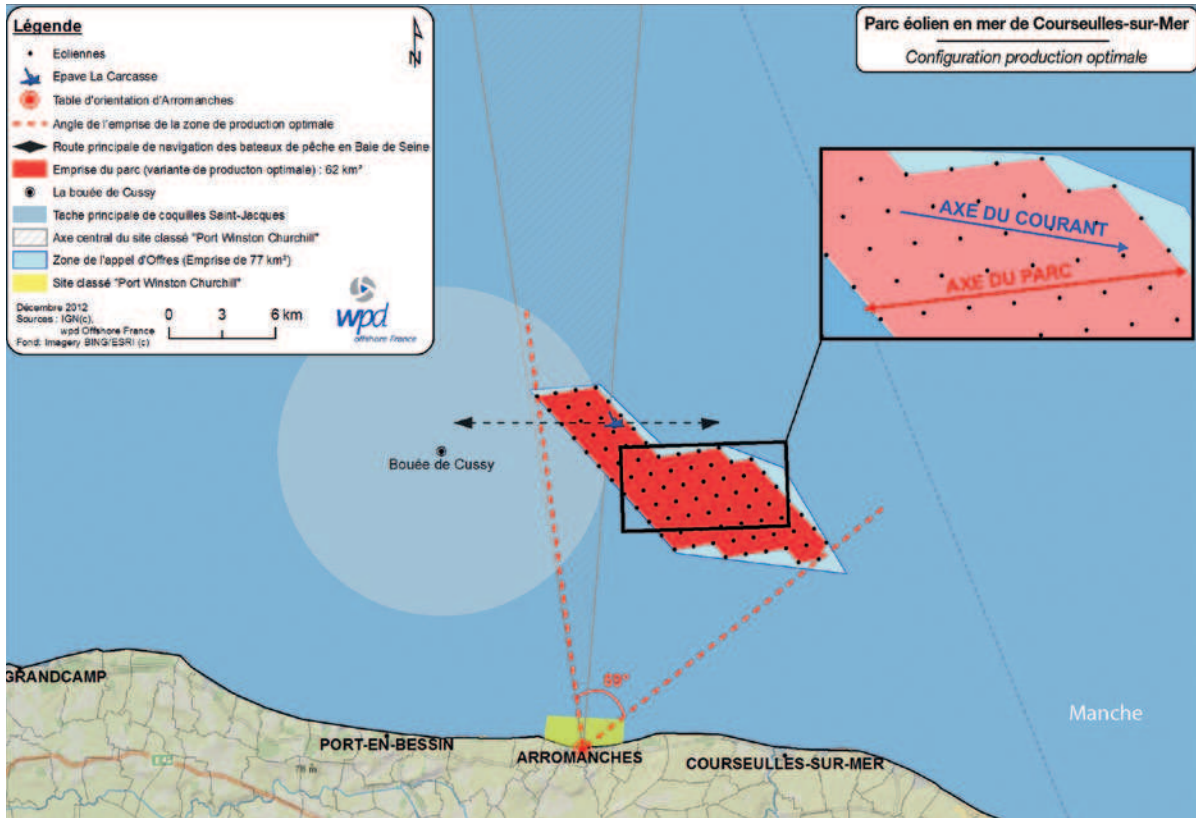
Un voyage d'étude a été organisé sur le parc éolien en mer de Barrow-in-Furness en Angleterre, avec un groupe comprenant marins-pêcheurs et représentants de la profession (comités locaux et régionaux des pêches maritimes, organisations de producteurs). Construit et exploité par DONG Energy au nord de Liverpool, ce parc situé à 7 kilomètres du rivage, comporte 30 éoliennes espacées de 500 à 750 mètres les unes des autres. Les participants ont pu constater qu'avec des réglages adéquats, les équipements de communication et de navigation fonctionnaient sans encombre au sein du parc et qu'il était possible d'y naviguer. Une rencontre avec les pêcheurs locaux a permis de confirmer que la ressource était toujours présente au sein du parc.

Le maître d'ouvrage a élaboré plusieurs configurations du parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer, avant d'aboutir au projet présenté à l'appel d'offres sur l'éolien en mer et proposé au débat public.

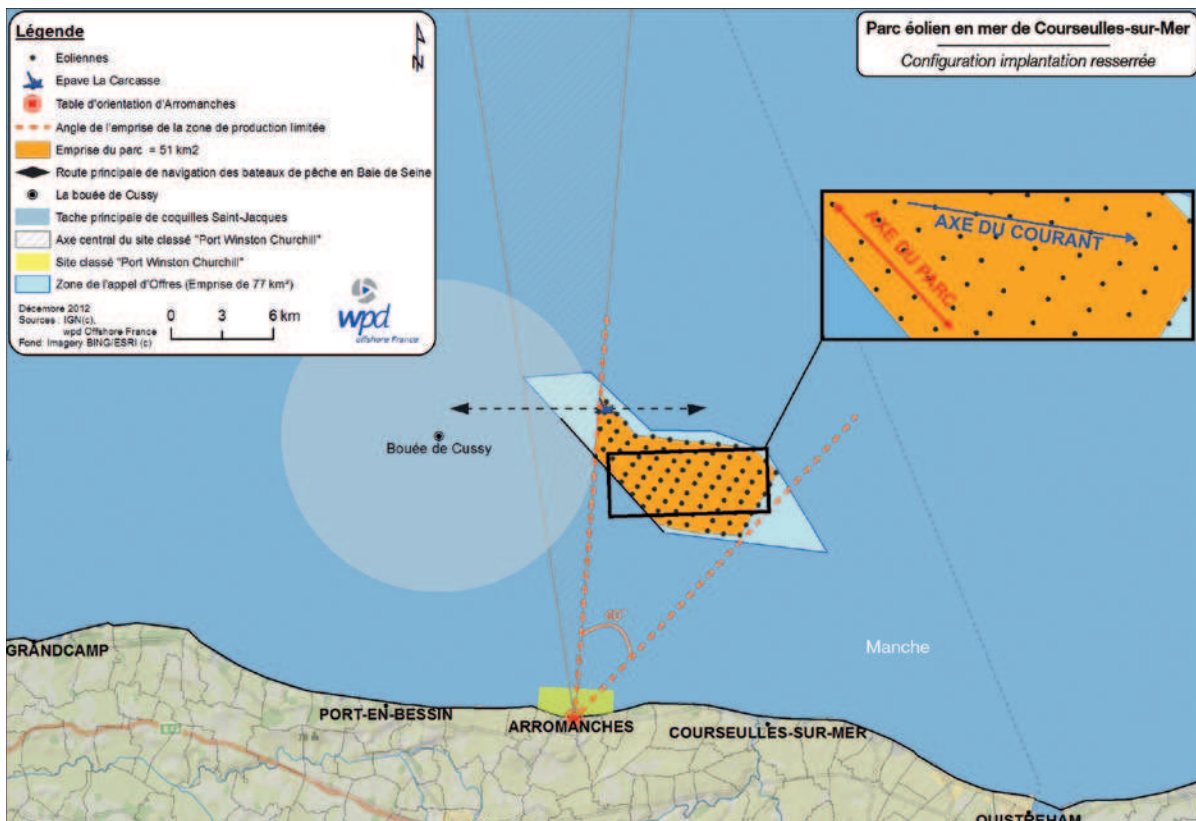
La première d'entre elles correspondait à une production d'électricité optimale. Les lignes d'éoliennes étaient perpendiculaires au vent dominant (ouest – sud-ouest) et très espacées les unes des autres. Le projet comportait 83 éoliennes pour une capacité totale de 498 mégawatts et couvrait l'ensemble du périmètre de l'appel d'offres. Une partie du parc se situait dans le gisement principal de coquilles Saint-Jacques. Cette proposition n'a pas satisfait les acteurs du territoire consultés.

Une évolution de cette configuration, comportant 83 éoliennes sur un périmètre plus resserré, avait été élaborée, prenant mieux en compte les enjeux de la pêche et du paysage. La zone nord du projet initial était supprimée afin de sortir de l'axe visuel du site classé d'Arromanches et de s'éloigner de la bouée de Cussy. Les distances entre éoliennes avaient été réduites (750 mètres), générant ainsi un effet de sillage (cf. focus p. 40) conduisant à une perte de production importante. Relativement bien accueillie par les élus du littoral, cette proposition était toutefois trop éloignée des attentes des représentants de la pêche.

Carte d'implantation de la configuration initiale



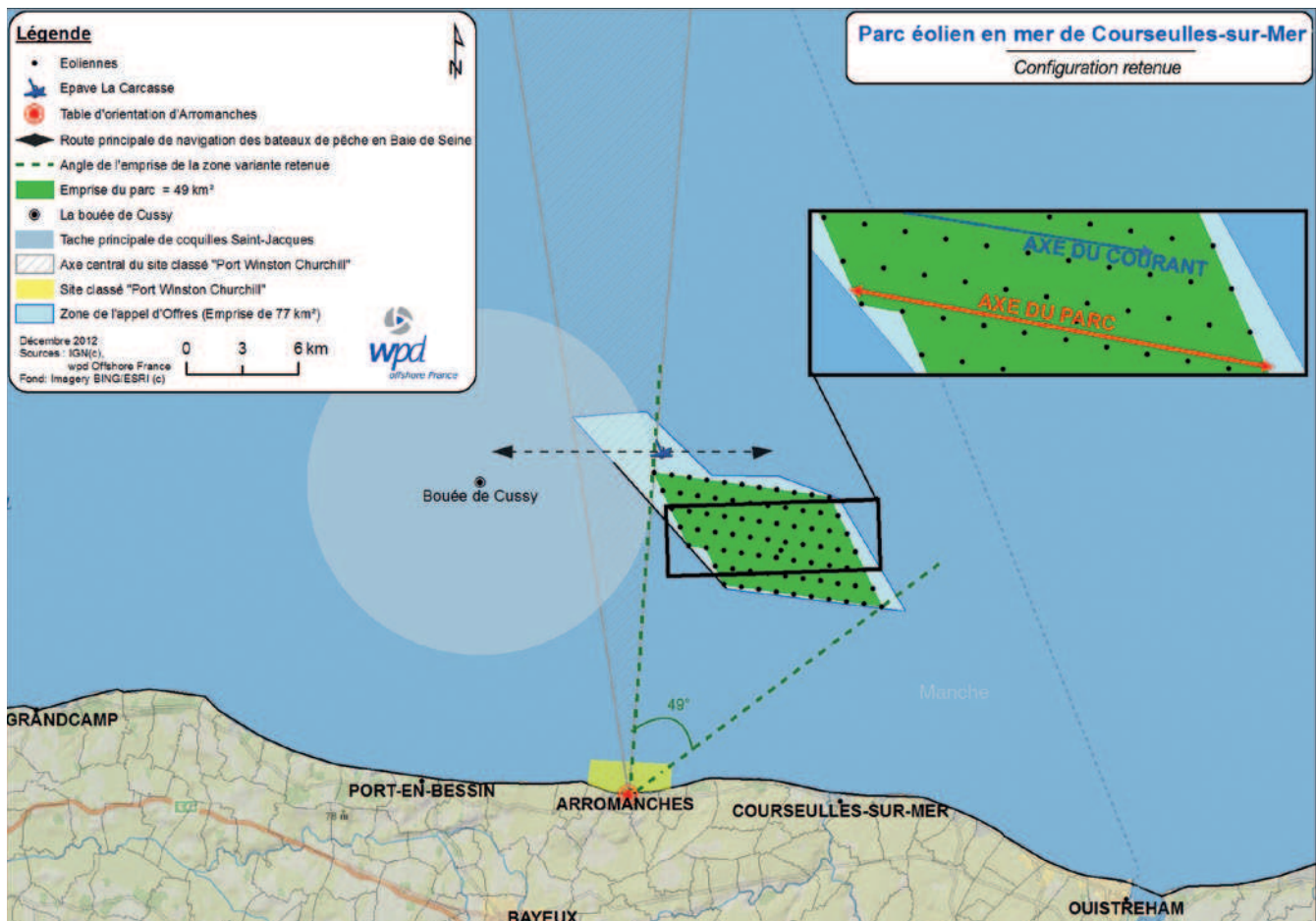
Carte d'implantation de la deuxième configuration



Pour le projet retenu pour l'appel d'offres et présenté au débat public, le maître d'ouvrage a privilégié une implantation avec un nombre d'éoliennes réduit à 75, pour une capacité totale de 450 mégawatts. Le périmètre du parc éolien est ainsi maintenu à l'écart des zones de pêche les plus riches: il n'empiète pas sur le gisement principal de coquilles Saint-Jacques et demeure au sud de l'épave de « La Carcasse ». Il respecte l'orientation des lignes de courant ($\approx 100^\circ$) pour ne pas perturber l'activité

des pêcheurs professionnels. L'axe du site classé d'Arromanches a été dégagé en supprimant les éoliennes initialement situées au nord, et en les regroupant dans le secteur est de la zone délimitée dans le cahier des charges de l'appel d'offres, tout en maintenant un niveau d'effet de sillage acceptable. L'emprise visuelle globale du parc depuis le littoral est ainsi limitée. Le projet ainsi défini prend en compte les recommandations qui ont été formulées par les différentes parties prenantes.

Carte d'implantation du projet de parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer



2.2. LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

2.2.a. 75 ÉOLIENNES DE 6 MÉGAWATTS FABRIQUÉES À SAINT-NAZAIRE ET CHERBOURG

Le projet proposé par le maître d'ouvrage, d'une puissance de 450 mégawatts, est constitué de 75 éoliennes raccordées par des câbles électriques sous-marins à un poste électrique en mer, lui-même raccordé au réseau électrique public terrestre. Les éoliennes sont installées sur des fondations. Un mât de mesure de vent (cf. focus p. 64) sera installé en mer pour affiner la connaissance du vent.

L'éolienne proposée pour le projet est une Alstom Haliade de nouvelle génération. Sa capacité de 6 mégawatts en fait une des éoliennes les plus puissantes du marché. Elle permet de réduire l'emprise au sol du parc éolien en mer pour une puissance totale équivalente. À titre de comparaison, en moyenne, la puissance des éoliennes installées en mer en Europe en 2011 était de 3,6 mégawatts.

Appel d'offres



77 km²



de 420 à 500
mégawatts

Surface du projet
proposé



50 km²



450
mégawatts

Il est prévu de fabriquer l'éolienne Alstom Haliade en France dans des usines construites à Saint-Nazaire (génératrices³⁴ et nacelles) et à Cherbourg (pales et mâts). L'assemblage des composants s'effectuerait à Cherbourg, avant acheminement par mer sur le lieu d'implantation du projet. La capacité de production de ces usines serait de 100 éoliennes par an destinées au marché français et à l'export.

34 Partie intégrée de la nacelle qui transforme l'énergie mécanique du vent en électricité

Vue de l'éolienne Alstom Haliade 6 MW



Première éolienne Alstom Haliade 6 MW installée en Loire-Atlantique



Avant d'être produite en série, l'éolienne Haliade doit être testée à terre et en mer. La première éolienne Haliade a été installée à terre en mars 2012 au Carnet en Loire-Atlantique, non loin de Saint-Nazaire. Elle comporte une sous-structure de 24 mètres (le jacket) et un mât de 73 mètres de haut. Au total, la nacelle culmine à 100 mètres du sol. L'éolienne et sa structure de support pèsent 1 500 tonnes. Le site du Carnet a été retenu pour effectuer les tests compte tenu de ses caractéristiques proches de celles du milieu marin. Les tests en cours permettent de tester les composants et de confirmer les performances de l'éolienne avant la phase de production en série. Des mesures doivent également être faites sur l'ensemble des composants en fonctionnement.

La deuxième éolienne doit être installée au premier trimestre 2013 en Mer du Nord (Belgique) pour recueillir des données sur le fonctionnement de l'éolienne dans les conditions réelles, en mer.

2.2.b. 7 LIGNES D'ÉOLIENNES SUR 50 KM² POUR 450 MÉGAWATTS

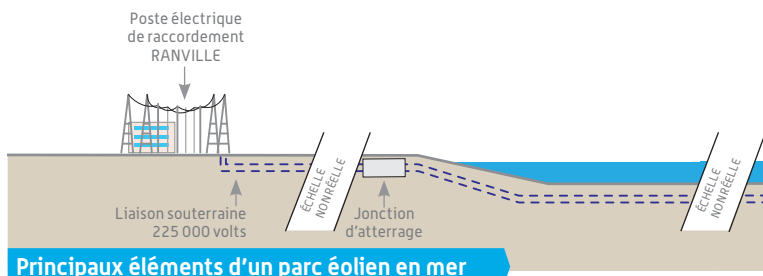
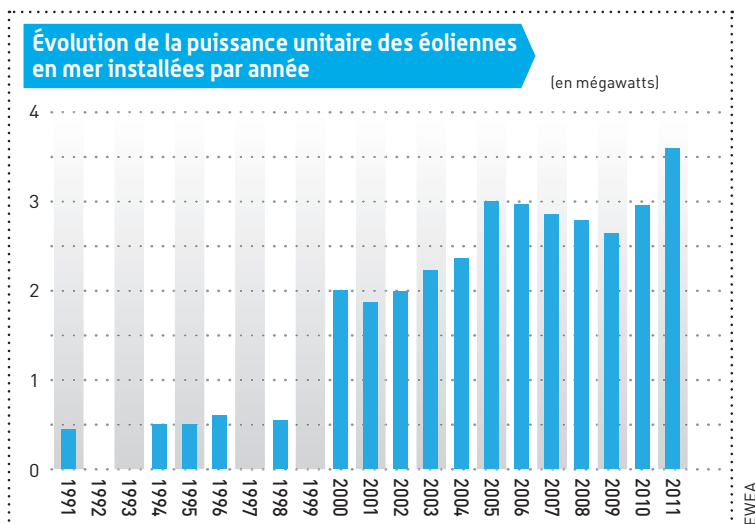
Selon le cahier des charges de l'appel d'offres gouvernemental, les projets soumis devaient être d'une puissance comprise entre 420 et 500 mégawatts, sur une zone de 77 km².

Le maître d'ouvrage a choisi de proposer un projet de 450 mégawatts comprenant 75 éoliennes de grande puissance, limitant ainsi l'emprise totale du projet à 50 km², soit 65 % de la zone soumise à l'appel d'offres. L'ensemble des usages de la mer, des contraintes environnementales et de sécurité maritime ont ainsi pu être mieux pris en compte.

Le maître d'ouvrage propose un projet de 7 lignes d'éoliennes, à raison d'une éolienne tous les 950 mètres. Ces lignes sont distantes de 900 mètres les unes des autres et orientées dans l'axe des courants principaux.

L'aménagement proposé permet :

- de restreindre l'emprise sur le domaine public maritime, afin de limiter les impacts sur les usages et l'environnement ;
- de suivre les recommandations des acteurs locaux relatives à la pêche et au paysage ;
- d'assurer de bonnes conditions de sécurité maritime dans le parc et aux alentours, par l'alignement des éoliennes dans le sens des courants et le choix d'une forme régulière pour les limites du parc ;
- de conserver un espacement suffisant entre deux éoliennes pour limiter les perturbations (appelées « effet de sillage ») et optimiser la production électrique.



Raccordement électrique



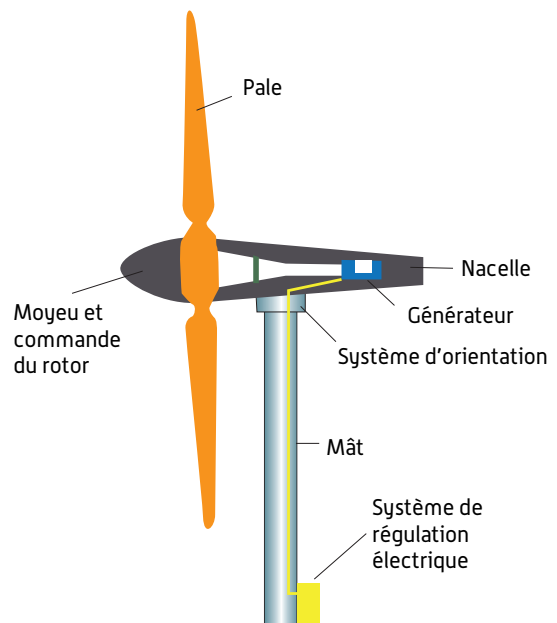
FOCUS

Principales caractéristiques de l'éolienne Alstom Haliade 6 mégawatts produite en 2012

- >> Puissance électrique unitaire : 6 mégawatts ;
- >> Hauteur de la nacelle : 100 mètres environ ;
- >> Longueur d'une pale : 73,5 mètres ;
- >> Hauteur en bout de pale : 175 mètres ;
- >> Technologie « Pure Torque™ » : technologie brevetée permettant un report des efforts mécaniques indésirables du vent vers le mât de l'éolienne ;
- >> Technologie à entraînement direct (sans multiplicateur*) avec un alternateur à aimants permanents* assurant une meilleure fiabilité.

Masse des composants :

- >> Pale : 32,5 tonnes chacune
- >> Nacelle avec génératrice : 360 tonnes
- >> Mât : 400 tonnes



Fondations des éoliennes



Câbles inter-éoliennes



Eoliennes composées d'une nacelle*, de trois pales et d'un mât

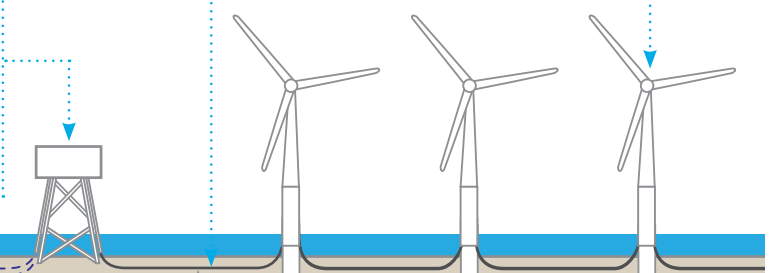


Poste électrique en mer



Liaison sous-marine
225 000 volts

Liaison sous-marine
33 000 volts



2.2.c. DES FONDATIONS ADAPTÉES AUX CARACTÉRISTIQUES DU SOUS-SOL MARIN

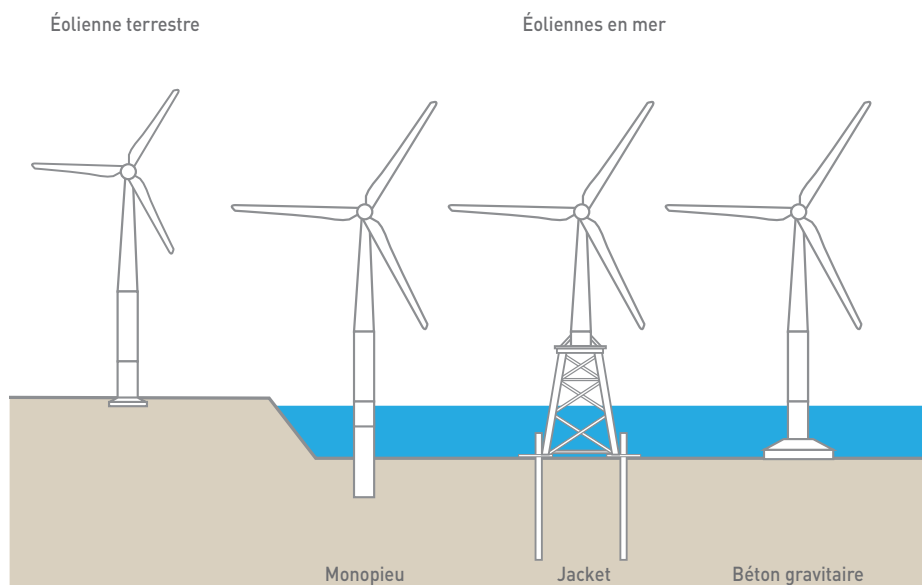
Une éolienne est fixée sur une fondation qui doit la soutenir et résister aux efforts du vent, de la houle et des courants marins. Plusieurs types de fondations sont utilisés en mer, dont le choix dépend des caractéristiques de l'éolienne et du site (hauteur d'eau, houle, courant, sous-sol).

Sur la base des résultats des sondages géologiques effectués à ce jour, la fondation de type monopieu est privilégiée pour le parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer. Des sondages complémentaires doivent être effectués à partir de 2013 pour confirmer ce choix. Les monopieux seraient d'environ 7 mètres de diamètre, de 50 à 150 millimètres d'épaisseur, et enfoncés à une profondeur moyenne de 25 mètres dans le sous-sol marin.

FOCUS Effet de sillage

L'effet de sillage pour le vent peut être comparé à la trajectoire de l'eau dans une rivière qui se reforme après avoir rencontré un obstacle. Les éoliennes en rotation génèrent des turbulences aérodynamiques reprises par les éoliennes situées sous leur vent, diminuant ainsi leur production. Plus la distance entre les éoliennes est importante et plus cet effet est atténué.

Principaux types de fondation utilisés pour les éoliennes en mer

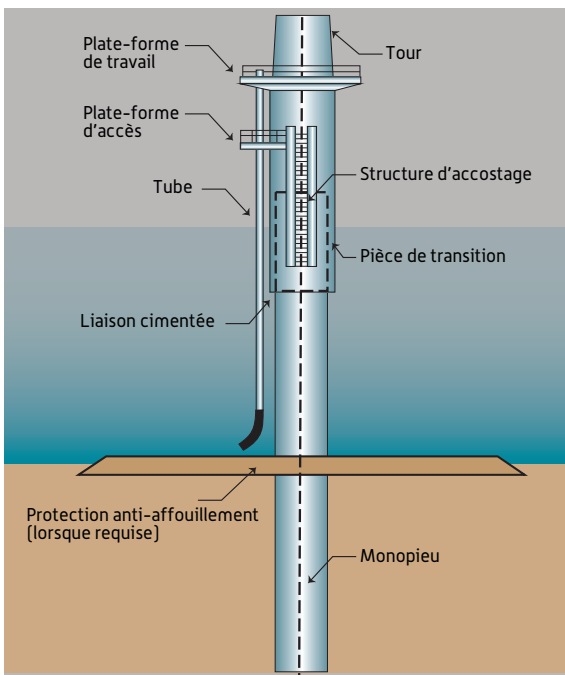


Fondation monopieu : constituée d'un pieu en acier de grand diamètre enfoncé à plusieurs dizaines de mètres dans le sous-sol marin.

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

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

Principaux éléments d'une fondation par monopieu (à gauche), monopieux et pièces de transition (à droite)



Navire d'installation

Inspection d'une carotte de forage³⁵

En 2011, trois carottages de 40 mètres de profondeur ont été réalisés afin de mieux identifier les caractéristiques du sous-sol calcaire et de pouvoir déterminer le type et le dimensionnement des fondations des éoliennes. D'autres forages sont prévus en 2013 et 2014 pour affiner la connaissance du sous-sol marin.

³⁵ Échantillon du sous-sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on y fait pénétrer. L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte.

2.2.d. INSTALLATION DU CÂBLAGE ÉLECTRIQUE DANS LE SOL MARIN

Les éoliennes sont reliées par des câbles électriques sous-marins à un poste électrique en mer. Ce poste électrique comprend les équipements de transformation de tension (élévation de la tension de 33 000 volts à 225 000 volts) et de comptage de l'énergie produite. Il constitue le **point de départ du raccordement au réseau public de transport d'électricité** dont RTE est le maître d'ouvrage.

Les câbles électriques doivent être protégés à la fois pour garantir leur intégrité contre les agressions potentielles (engins de pêche, ancres, courants) et pour assurer la sécurité des usagers de la mer. L'expérience montre que la meilleure solution est de les enfouir dans le sol marin - l'ensouillement³⁶ - plutôt que de les ancrer ou de poser des protections mécaniques. **Partout où cela sera possible, les câbles reliant les éoliennes au poste électrique en mer comme ceux les reliant entre elles seront ensouillés**, à la profondeur appropriée. Ils seront protégés là où l'ensouillement sera impossible.

36 Action qui consiste à enfouir les câbles électriques dans les sédiments marins.

FOCUS Raccordement au réseau public

Le parc éolien offshore de Courseulles-sur-Mer sera raccordé au réseau public de transport d'électricité par l'intermédiaire d'un poste électrique en mer unique comprenant les équipements de transformation et de comptage de l'énergie délivrée par les éoliennes.

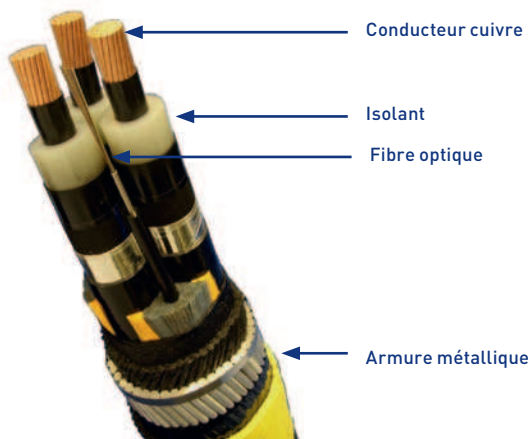
Le poste électrique en mer se présente comme une structure métallique fermée, conçue pour l'ensemble de la durée de vie du parc éolien. Cet ensemble repose sur une plateforme et une structure de fondation de type jacket. À bord de la plateforme se trouve un groupe électrogène, avec une réserve de carburant pour sept jours. Ce carburant est le seul liquide inflammable présent sur la plateforme, ce qui confère à l'installation le caractère de « zone dangereuse ». La plateforme est dotée d'un système permettant d'écouler les eaux pluviales sans pollution du milieu marin. Elle comporte des systèmes de rétention et de séparation des huiles et des eaux polluées afin de préserver le milieu marin de toute fuite éventuelle et pollution.

Poste électrique en mer du parc éolien DONG Energy de Walney



DONG

Illustration d'un câble sous-marin inter-éoliennes



Conçus spécifiquement pour des utilisations en mer, les câbles sont constitués de :

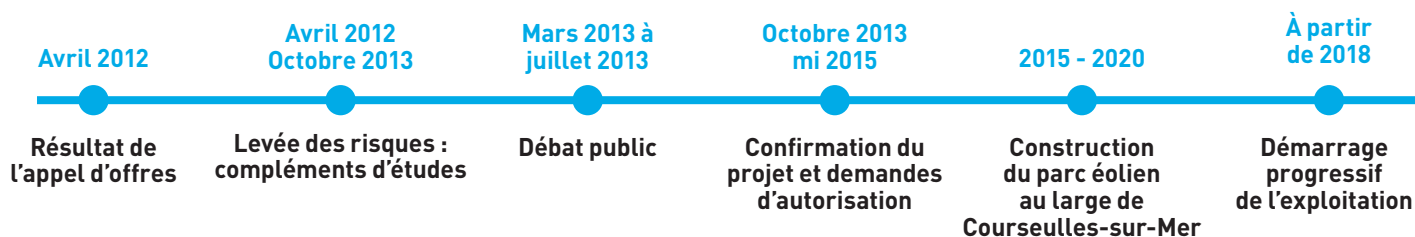
- >> trois conducteurs en cuivre ou en aluminium, chacun gainé par un matériau hautement isolant, permettant une utilisation jusqu'à 33 000 volts,
- >> d'un faisceau de fibres optiques qui créent un réseau de communication entre les éoliennes et le poste électrique en mer.

Ces quatre éléments sont regroupés et protégés par une armure extérieure, constituée notamment d'une tresse en acier galvanisé, pour former un câble d'un seul tenant.

En fonction du nombre d'éoliennes qui doivent être reliées entre elles, différentes sections de câbles peuvent être utilisées. Il est prévu d'utiliser deux sections différentes de conducteur en cuivre : 240 et 630 mm², correspondant à un diamètre extérieur du câble respectivement de 11 et 15 centimètres, pour un poids de 20 et 40 kilogrammes par mètre environ.

DRAKA/Prysmian

2.3. LES ÉTAPES DU PROJET



2.3.a. LE CALENDRIER PRÉVISIONNEL

Le calendrier a été défini dans l'objectif d'une mise en service progressive du parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer entre 2018 et 2020, conformément aux exigences de l'appel d'offres gouvernemental.

AVRIL 2012 - OCTOBRE 2013 : LEVÉE DES RISQUES

Le cahier des charges 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). Cette phase doit permettre d'identifier les risques de non-réalisation du projet ou de retard dans sa mise en service. Le maître d'ouvrage réalise à cet effet des études pour confirmer le bien-fondé de ses choix techniques et préciser notamment le dimensionnement des fondations des éoliennes. Il s'agit notamment :

- ▶ des études sur la profondeur d'eau, la forme et la nature des fonds marins de la zone afin de déterminer les options techniques pour les fondations des éoliennes et les câbles électriques ;
- ▶ des études relatives aux caractéristiques mécaniques du sous-sol ;
- ▶ des études océanographiques et météorologiques nécessaires à la réalisation des ouvrages et permettant d'évaluer la production d'électricité des installations ;
- ▶ des études relatives à la présence d'engins explosifs des dernières guerres, sur le sol ou enfouis dans la zone ;
- ▶ de l'étude sur les moyens de surveillance de la navigation maritime au sein et à proximité du parc ;
- ▶ des résultats des études environnementales engagées ;
- ▶ de l'avancement des études d'impact socio-économique du projet.

MARS 2013 - JUILLET 2013 : DÉBAT PUBLIC

OCTOBRE 2013 - MI 2015 : CONFIRMATION DU PROJET ET DEMANDES D'AUTORISATIONS

Si le maître d'ouvrage décide de poursuivre le projet à l'issue du débat public, il déposera les demandes d'autorisations nécessaires (cf. annexe). L'enquête publique pourrait être envisagée en 2014 et, selon le calendrier initial défini par l'État, les autorisations seraient délivrées entre l'été 2014 et l'été 2015. La conception détaillée du projet sera réalisée en parallèle tandis que le plan industriel et le plan de formation seront mis en place. Sous réserve de l'obtention des autorisations, le maître d'ouvrage prendrait sa décision finale d'investissement en 2015. Pendant ce temps un mât de mesure sera installé en mer permettant d'améliorer la connaissance du gisement de vent sur la zone.

2015 - 2020 : CONSTRUCTION DU PARC ÉOLIEN AU LARGE DE COURSEULLES-SUR-MER

Les travaux d'aménagement portuaire et de construction des équipements pourraient démarrer en 2015-2016 ; l'installation des fondations en 2017 et celle des éoliennes en 2018. Le cahier des charges prévoit la mise en service du parc éolien par tranches successives : au plus tard 20 % de la puissance totale en 2018, 50 % en 2019 et la totalité en 2020. En cas de retard, des pénalités pourront être appliquées par l'État.

2018 À 2020 : DÉMARRAGE PROGRESSIF DE L'EXPLOITATION

L'exploitation du parc éolien de Courseulles-sur-Mer devrait démarrer à partir de 2018, pour une mise en service complète en 2020. Elle pourra durer 25 ans environ. Le maître d'ouvrage pourra s'il le souhaite solliciter les autorisations nécessaires à la poursuite de l'exploitation. En fin d'exploitation, il est prévu de démanteler le parc et de remettre le site en état.

2.3.b. LE TEMPS DES ÉTUDES ET DU CHANTIER, À TERRE ET EN MER

Précédée de plusieurs aménagements à terre, l'installation du parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer requiert 5 ans de travaux, prévus de 2015 à 2020.

Ces travaux concernent aussi bien les usines de fabrication des éoliennes par Alstom ainsi que leur assemblage et la fabrication des autres composants du parc éolien (fondations, poste électrique en mer, câbles, etc.). Pour la levée des risques, il est prévu d'effectuer en mer et éventuellement dans les ports des relevés bathymétriques, topologiques³⁷, géophysiques³⁸, magnétométriques³⁹ et des sondages géotechniques⁴⁰. Les informations complémentaires apportées par ce type de travaux servent à la validation des choix techniques.

LES TRAVAUX PORTUAIRES

Ces travaux ont pour objet d'adapter les infrastructures portuaires aux besoins des futures usines d'Alstom et des zones prévues pour l'assemblage des éoliennes par le maître d'ouvrage. Dans les ports où sont envisagés la fabrication et l'assemblage des différents composants des éoliennes (nacelles, pales et mâts) et des fondations, il est prévu de construire ou de renforcer des quais, d'étendre des infrastructures portuaires, de draguer des chenaux d'accès aux quais et de renforcer des souilles⁴¹ portuaires afin de les adapter aux besoins du projet. Des navires de dragage, des barges auto-élévatrices et des engins de terrassement sont utilisés pour ce type de travaux.

37 Relevé permettant une étude des lieux.

38 Étude de la Terre par les méthodes de la physique.

39 Détection des anomalies du champ magnétique créées par la présence de masses de fer au fond de la mer (épaves, ancres, câbles...).

40 Investigation du sous-sol destinée à déterminer la nature et les caractéristiques mécaniques, physiques et éventuellement chimiques de ses constituants afin de prévoir son comportement lors de la réalisation d'un ouvrage.

41 Approfondissement d'une surface le long d'un quai pour permettre le stationnement d'un navire indépendamment de la marée ; tranchée réalisée dans les fonds marins.

Les ports retenus sont Saint-Nazaire pour la fabrication des génératrices et des nacelles, Cherbourg pour la fabrication des pales et des mâts. Il est prévu que l'assemblage des composants du parc éolien soit réalisé sur le port de Cherbourg.

LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES À LA MISE EN PLACE DES USINES DE FABRICATION ET D'ASSEMBLAGE

Ces travaux porteront principalement sur la préparation, l'adaptation et la remise en état de surfaces capables, par la suite, d'accueillir les usines de fabrication et les sites d'assemblage des éléments du parc éolien (fondations, nacelles, pales et mâts). Seront principalement employés des moyens de terrassement.

FOCUS Séquencement de l'installation en mer

1. Installation du poste électrique ;
2. Installation des fondations des éoliennes ;
3. Installation des câbles électriques entre le poste électrique et les fondations des éoliennes ;
4. Installation des éoliennes.

FOCUS Les impacts environnementaux des aménagements portuaires

- >> Dragage : turbidité de l'eau, bruit sous-marin, gêne à la navigation ;
- >> Extension des infrastructures portuaires : turbidité de l'eau, perturbation des espèces marines situées à proximité, gêne des activités connexes terrestres et maritimes, changement de la perspective paysagère ;
- >> Construction des usines : circulation des engins de chantier, poussières, changement de la perspective paysagère ;
- >> Travaux de renforcement ou d'extension de quai : bruit aérien en cas de déroctage ou de travaux de battage, gêne au débarquement des navires de pêche ou de commerce, risques de pollution accidentelle par les engins de chantier.

Ces aménagements feront l'objet d'évaluations environnementales, notamment au titre du Code de l'environnement.

LA CONSTRUCTION DES USINES DE FABRICATION ET D'ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS D'ÉOLIENNES

Les divers composants d'un parc éolien - fondations, poste électrique en mer, éoliennes elles-mêmes composées d'un mât en plusieurs sections, d'une nacelle et d'un rotor⁴² de trois pales - sont des pièces lourdes et de grandes dimensions. Les sites retenus pour les fabriquer et les assembler doivent donc être spécifiquement aménagés.

Ces travaux serviront à aménager les surfaces par la mise en place de systèmes de voiries, de réseaux, afin de rendre les sites portuaires compatibles avec les activités de fabrication et d'assemblage.

LA FABRICATION ET L'ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DU PARC ÉOLIEN

Les opérations de fabrication et d'assemblage des composants du parc éolien seront réalisées depuis des usines et des sites préalablement préparés à recevoir ces activités (cf. p. 83). Elles consisteront à recevoir les matières premières et/ou les composants, les transformer, les assembler, les tester et les stocker jusqu'à leur chargement sur les navires de transport et d'installation en mer qui les achemineront soit vers un autre site d'assemblage ou de chargement soit directement vers le site d'installation en mer.

Les usines seront équipées de moyens de maintenance tels que des grues, des chariots élévateurs, des ponts roulants, d'équipements de transformation et d'assemblage d'acier (roulage, coupage, soudage). Le cas échéant, des moyens nautiques (barges et remorqueurs) pourraient aussi être utilisés pour stocker des éléments avant leur transport vers le site d'installation en mer.

L'INSTALLATION EN MER DES ÉQUIPEMENTS ET LEUR MISE EN SERVICE

L'installation et la mise en service de l'ensemble des éléments d'un parc éolien - fondations, éoliennes, poste électrique en mer et câbles - nécessitent de recourir à des équipements spécifiques, dont des

42 Partie mobile de l'éolienne composée des pales et du moyeu.

FOCUS

Caractéristiques types d'un navire d'installation d'éoliennes

- >> Longueur: 150 mètres.
- >> Largeur: 45 mètres.
- >> Une grue de capacité d'environ 1 200 tonnes.
- >> Système auto-élévateur pouvant surélever le navire au-dessus de l'eau pour s'affranchir des mouvements de la mer à une profondeur d'eau de 30 mètres ou plus.
- >> Capacité de chargement: 7 000 tonnes.

Navire d'installation des éoliennes



DONG

FOCUS

Méthode d'installation des éoliennes

Les éoliennes sont assemblées sur le quai de chargement où vient s'amarrer le navire d'installation.

Il peut y avoir entre trois et sept parties suivant la méthode d'installation retenue. Le chargement des différentes parties se fait soit par levage, soit par roulage en fonction de la partie à charger et des facilités à disposition.

Trois à six éoliennes pourraient être chargées par voyage selon la capacité du navire retenu.

Les éoliennes sont sécurisées sur le navire pour résister aux conditions de transport qui pourront être rencontrées.

Une fois sur site, le navire s'auto-élève sur ses jambes, de 10 à 20 mètres au-dessus de l'eau, afin de se soustraire aux conditions de mer. Les opérations de levage commenceront alors par l'installation du mât de l'éolienne puis la nacelle et son rotor et enfin les pales. Ces opérations terminées, le navire se remettra en position de navigation et se déplacera à l'éolienne suivante pour renouveler cette séquence opérationnelle.

moyens nautiques tels que des navires autoélévateurs, des navires de pose et d'ensoulement 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.

2.3.c. LE TEMPS DE L'EXPLOITATION ET DE LA MAINTENANCE

Le maître d'ouvrage et ses partenaires bénéficient d'une expérience reconnue en matière de conduite et de supervision de parcs éoliens, à terre comme en mer. Ils disposent également d'une stratégie de maintenance et d'une organisation interne bien maîtrisées. Forts de ces savoir-faire, ils fondent leur stratégie d'exploitation et de maintenance sur trois axes principaux : l'identification et la maîtrise des risques (qualité, santé, sécurité, environnement), l'optimisation continue de la production et la maîtrise des coûts.

Les activités d'exploitation et de maintenance du parc seront réalisées par une centaine d'ingénieurs, de techniciens et de marins...

LE MAÎTRE D'OUVRAGE PRÉVOIT DE CRÉER UN CENTRE POUR L'EXPLOITATION.

Un centre d'exploitation technique sera créé et appelé à fonctionner 24h/24 et 7j/7, en lien avec l'ingénierie et la maintenance pour optimiser la planification des interventions. Il permettra d'assurer la supervi-

sion de plusieurs parcs éoliens en mer. Sa localisation n'est à ce jour pas encore fixée et nécessite la réalisation d'études technico-économiques. Les équipes d'exploitation seront en charge de la surveillance du parc, de l'analyse de premier niveau, de la localisation du personnel, du contrôle d'accès aux éoliennes et de la coordination des activités. Les équipes de gestion financière et réglementaire seront quant à elles en charge du suivi administratif des parcs.

UNE BASE DE MAINTENANCE DÉDIÉE AU PROJET EST PRÉVUE SUR LE PORT DE CAEN-QUISTREHAM, À PROXIMITÉ IMMÉDIATE DU PARC ÉOLIEN, AVEC DES ÉQUIPES DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE ET CORRECTIVE.

Les activités de maintenance concernent les interventions et le transport en mer ainsi que les activités de gestion, d'administration et de support technique aux activités en mer.

Selon les conditions météorologiques, les déplacements des techniciens s'effectuent par navire ou par hélicoptère, afin d'assurer des conditions de sécurité optimales.

Il est envisagé d'amarrer près de la base de maintenance les navires utilisés pour transférer le personnel. Plusieurs types de navires sont à l'étude (monocoque, catamarans). Ils doivent pouvoir transporter 12 passagers et environ 4 tonnes de charge utile. D'une vitesse moyenne de 20 nœuds, ils sont en mesure d'atteindre chacune des éoliennes du parc en une heure environ depuis le port de Caen-Quistreham.

MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive consistent à contrôler à échéances régulières les éoliennes, pour leur assurer une disponibilité optimale. Planifiées et réalisées selon les spécifications des fournisseurs des composants de l'installation (éolienne, fondation, poste électrique, câbles), elles incluent notamment : la lubrification des composants, l'inspection des matériels de sécurité, des équipements basse et haute tension et des capteurs⁴³, le remplacement des

Déplacement de technicien en hélicoptère



DONG

⁴³ Dispositif transformant l'état d'une grandeur physique déterminée en signall.

filtres et des consommables, la vérification du serrage au couple⁴⁴ des éléments de fixation de la structure. Le plan de maintenance spécifique d'une éolienne définit les opérations à réaliser et leur fréquence. Chaque opération est accompagnée d'une feuille d'instructions définissant les procédures à suivre.

Les opérations de maintenance préventive ne nécessitent pas de moyens logistiques lourds. Elles sont réalisées une fois par an, à raison d'une équipe de six personnes par éolienne pendant une durée moyenne de cinq jours de travail, soit 250 heures par éolienne environ. Pour des raisons de sécurité, les éoliennes sont arrêtées pendant les interventions et sont opérationnelles en dehors des plages horaires de travail des équipes, la nuit en particulier. Afin d'optimiser les conditions de travail et de minimiser les pertes de production, les interventions sont planifiées pendant les périodes de vent et de houle faibles (généralement au printemps et en été).

D'autres opérations de maintenance préventive, plus spécifiques, sont prévues tous les 2 à 5 ans pour quelques équipements, par exemple le remplacement des systèmes de refroidissement du convertisseur⁴⁵, tous les 5 ans.

MAINTENANCE CORRECTIVE LÉGÈRE

La maintenance corrective légère correspond aux inspections de contrôle en cas de détection d'anomalie (température, vibration, pression, etc.) et à la réparation de pièces pouvant être manipulées à l'aide des grues, d'une capacité maximale de levage de deux tonnes, installées sur chaque éolienne (sur la plateforme de transition au bas de l'éolienne et dans la nacelle). Ces interventions, nécessitant une équipe de trois à quatre techniciens par éolienne, durent en moyenne deux à quatre heures, périodes pendant lesquelles les éoliennes sont arrêtées.

En cas de mauvais temps rendant impossible le transfert des équipes par navire, des hélicoptères d'une

⁴⁴ Le couple représente l'intensité de la force exercée sur un objet entraînant la rotation de cet objet.

⁴⁵ Dispositif permettant de changer la forme de l'énergie électrique (par exemple de courant alternatif en courant continu).

capacité de 3 à 5 passagers pourront être utilisés, si la visibilité le permet. L'accès des techniciens à l'éolienne sera assuré par treuillage.

MAINTENANCE CORRECTIVE LOURDE

La maintenance corrective lourde correspond au remplacement exceptionnel de composants majeurs d'un poids supérieur à 2 tonnes : pales, génératrice, roulements principaux, transformateur⁴⁶. Elle nécessite des moyens particuliers tels que des navires d'assistance ou des barges autoélevatrices équipées de grues de forte capacité. Ces opérations mobilisent jusqu'à dix techniciens pendant plusieurs dizaines d'heures en fonction du volume et du poids de la pièce à remplacer. Un flux logistique dédié sera mis en œuvre.

⁴⁶ Équipement permettant de modifier les valeurs de tension d'un courant alternatif.

Navire doté de moyens de levage pour l'installation d'éoliennes en mer



2.3.d. LE TEMPS DU DÉMANTÈLEMENT DU PARC

La concession d'utilisation du domaine public maritime est délivrée pour une durée maximale de 30 ans. À l'expiration de ce délai, le titulaire de la concession doit remettre le site en état. Dès la réalisation de l'étude d'impact sur l'environnement, le maître d'ouvrage établit un plan de démantèlement. Comme le prévoit le cahier des charges de l'appel d'offres, il doit informer le préfet de sa décision de mettre fin à l'exploitation du parc au moins cinq ans à l'avance. Au plus tard deux ans avant la fin de l'exploitation, le maître d'ouvrage réalise 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 usages de la mer et à la sécurité maritime. Il provisionne les montants couvrant les coûts de démantèlement. Tous les composants du parc éolien seront démontés et rapportés à terre en vue d'en réutiliser, recycler ou éliminer les différents éléments. La nature et les techniques des opérations de démantèlement seront choisies de façon à minimiser les perturbations pour le milieu biologique et les activités maritimes. Les travaux de démantèlement devraient prendre 2 ans, soit une durée comparable ou légèrement inférieure à celle nécessaire à l'installation du parc éolien en mer.



FOCUS

Les travaux de démantèlement du parc éolien

- >> **Mise hors service de l'installation électrique du parc éolien.**
- >> **Retrait des protections et récupération des câbles électriques**, avec des moyens similaires à ceux utilisés en phase de construction.
- >> **Démontage des éoliennes**, portant sur l'ensemble des composants avec des moyens similaires à ceux utilisés pour leur installation.
- >> **Démontage du poste électrique en mer :**
 - vidange des fluides classés dangereux et rapatriement de façon contrôlée à terre,
 - désolidarisation de la structure métallique et des composants électriques de la fondation,
 - découpe de la structure métallique de la fondation à la profondeur nécessaire pour son retrait.
- >> **Enlèvement de la partie supérieure au fond marin des fondations.**

Tous ces composants sont ensuite ramenés à terre à l'aide de navires puis démantelés en éléments réutilisables, recyclables ou éliminables.

Navire doté de moyens de levage pour l'installation d'éoliennes en mer



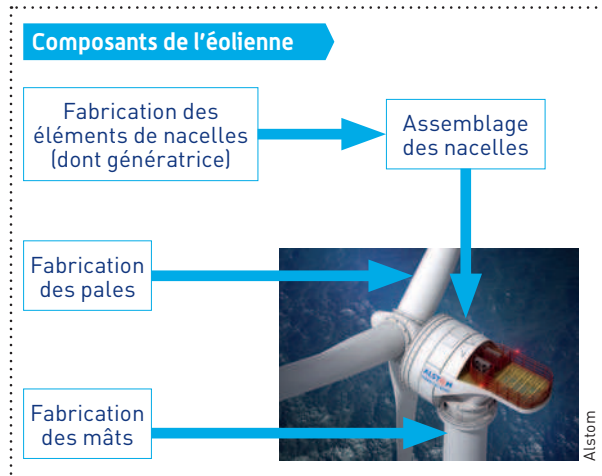
2.4. LES AMÉNAGEMENTS PORTUAIRES

2.4.a. DEUX PORTS POUR LA CONSTRUCTION ET L'INSTALLATION

Un parc éolien en mer est constitué d'éléments de grande taille uniquement transportables par voie maritime. Son installation nécessite donc des aménagements portuaires de grande capacité pour les fabriquer, les assembler, les stocker et les expédier.

Chaque éolienne se compose principalement d'une génératrice, d'une nacelle, d'un rotor et d'un mât. Chacun de ces éléments doit être fabriqué dans des usines spécifiques, créées en zone portuaire à proximité immédiate de quais dédiés, de façon à faciliter leur transport.

Alstom prévoit la construction d'usines réparties sur deux sites pour fabriquer l'éolienne Haliade. La fabrication des génératrices et l'assemblage des nacelles se feraient à Saint-Nazaire et la fabrication des pales et des mâts à Cherbourg.

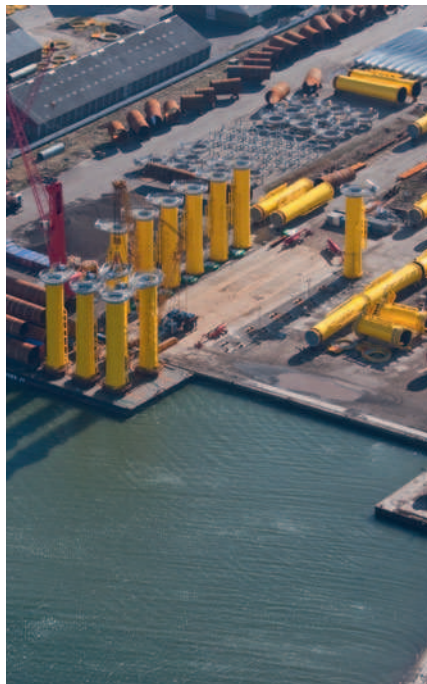


Il est prévu de fabriquer les éoliennes Haliade de 6 mégawatts à Saint-Nazaire et à Cherbourg

Différentes étapes des aménagements portuaires



Assemblage et stockage des éoliennes



Fabrication et stockage des fondations

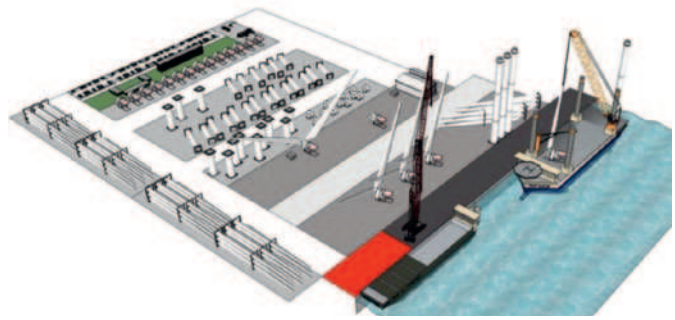


Installation des éléments

Caractéristiques du site d'assemblage des éoliennes

- >> Surface : 15 hectares en bord à quai
- >> Quai compatible avec le stockage de colis lourds
- >> Souille compatible avec l'utilisation de navires d'installation.

Schéma d'un port d'assemblage des éoliennes



L'assemblage des éoliennes destinées au parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer est prévu à Cherbourg, sur le terre-plein des Mielles, après les avoir acheminées par voie maritime. L'assemblage à terre (notamment deux des trois tronçons du mât et de deux pales sur chaque nacelle) permet de limiter les opérations d'installation en mer.

CONSTRUCTION ET STOCKAGE DES FONDATIONS DE TYPE MONOPIEU

Les fondations caractérisées par leur taille importante nécessitent d'être construites à proximité immédiate d'un quai pour pouvoir être ensuite transportées par voie maritime. La construction et le stockage des fondations destinées au parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer sont envisagés à Cherbourg, sous réserve de compatibilité du planning de la construction du terre-plein portuaire avec celui du projet.

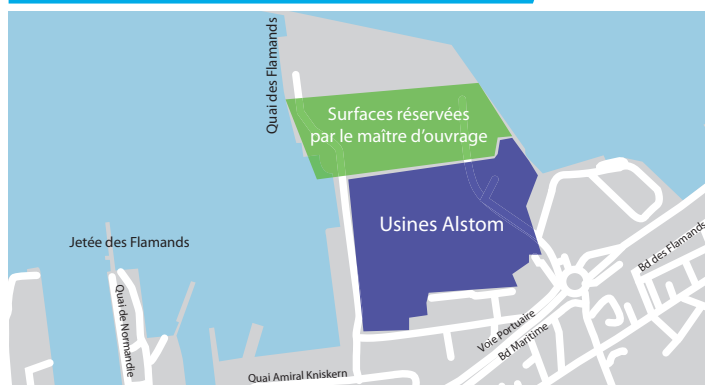
2.4.b. UNE BASE DE MAINTENANCE DANS LE PORT DE CAEN-OUISTREHAM

L'exploitation et la maintenance d'un parc éolien en mer nécessitent des infrastructures portuaires adaptées : une base terrestre, des aires de stockage et des pontons dédiés aux navires effectuant le transfert des techniciens vers le parc éolien.

Une base de maintenance courante de 1 000 m² environ comprend des ateliers (électromécanique, électronique), des stocks de petites pièces de rechange, ainsi que des vestiaires, des sanitaires, des réfectoires et des bureaux pour l'accueil des techniciens de maintenance. La zone de quai utilisée pour le transfert des techniciens et du matériel comporte une aire réservée au chargement et déchargement de matériel. Elle est équipée de moyens de levage et de manutention et de places permanentes et périodiques pour les navettes de transport.

Afin de choisir le lieu d'accueil de la base de maintenance du parc éolien en mer, une analyse des ports situés à proximité du projet a été menée pour évaluer principalement les facilités d'accès maritime (proximité du parc, hauteur d'eau compatible à toute heure avec les navires de maintenance envisagés, caractéristiques des quais) ainsi que les espaces disponibles pour construire la base. Cette analyse a conduit le maître d'ouvrage à retenir le port de Caen-Ouistreham comme base de maintenance préférentielle, en aval de l'écluse de l'avant-port.

Port de Cherbourg – Surfaces réservées pour la fabrication et l'assemblage des éoliennes



Il est le seul site portuaire présentant l'avantage de la proximité (11 milles nautiques), tout en offrant une zone abritée accessible à toute heure pour un navire de maintenance (2 mètres de tirant d'eau⁴⁷) et une longueur de quai compatible avec l'accueil simultané sur ponton de 2 à 3 navires dédiés à l'exploitation du parc éolien en mer. Des aménagements doivent être réalisés afin que la base de maintenance soit opérationnelle dès le début de la construction du parc, pour suivre l'évolution des travaux en mer.

Les études conduites avec Ports Normands Associés (Syndicat mixte en charge des ports de Caen-Ouistreham et Cherbourg) ont permis d'estimer les besoins en aménagements du port de Caen-Ouistreham, notamment :

- ▶ construction d'un bâtiment ;
- ▶ réaménagement des pontons ;
- ▶ installation de moyens de levage.

⁴⁷ Hauteur de la partie immergée d'un navire, qui varie en fonction de la charge de transport.

Échelle d'accostage, parc de Walney en mer d'Irlande au Royaume-Uni



Port d'assemblage du parc de Walney au Royaume-Uni



2.5. COÛT ET FINANCEMENT PRÉVISIONNELS DU PROJET

2.5.a. LES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Les coûts de développement et de réalisation du projet de parc éolien en mer sont estimés à environ 1,8 milliard d'euros.

Les dépenses d'investissement comprennent les coûts de développement, de fourniture, d'assemblage, de test, d'installation et de mise en service des composants du projet ainsi que des assurances en période de construction. Ce montant inclut également l'investissement lié aux ouvrages de raccordement du parc au réseau public d'électricité, à la charge du maître d'ouvrage. Le développement et la construction des ouvrages de raccordement du poste électrique en mer au réseau de transport de l'électricité relèvent de la compétence de RTE (cf. feuillet joint au Dossier du Maître d'ouvrage), mais ces dépenses d'investissement sont supportées par le maître d'ouvrage et intégrées dans le coût de l'électricité produite par le parc éolien de Courseulles-sur-Mer. Un montant prévisionnel d'aléas couvre une partie des risques inhérents au projet pendant la phase de développement et de construction.

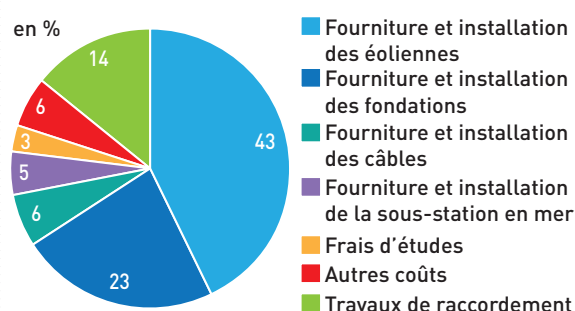
2.5.b. LES COÛTS D'EXPLOITATION ET MAINTENANCE

Les coûts de fonctionnement du parc avoisinent 50 millions d'euros par an.

Après la mise en service complète de l'installation, les dépenses de maintenance correspondent pour l'essentiel à l'achat de pièces de rechange des turbines et aux frais logistiques d'accès au parc éolien en mer depuis le port de Caen-Ouistreham.

S'ajoutent à ces coûts les dépenses d'exploitation - charges salariales des équipes responsables du suivi de la production (détection des problèmes, analyse, optimisation et coordination des interventions) et de la gestion administrative du projet ainsi que des coûts de télécommunication et d'équipements informatiques - et les dépenses liées aux assurances ainsi que le montant de la taxe spéciale sur les éoliennes en mer et d'autres taxes.

Répartition des coûts de développement et de construction du projet de parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer



Le coût des éoliennes ainsi que l'achat et l'installation des fondations représentent plus de la moitié des dépenses d'investissement du projet. Un budget de suspension des travaux pour cause d'aléas météorologiques y a été intégré.

2.5.c. UNE GARANTIE FINANCIÈRE POUR LE DÉMANTÈLEMENT

Les coûts de démantèlement intègrent les coûts de démontage et de transport des matériaux ainsi que leur traitement par une filière spécialisée. Le maître d'ouvrage établira une provision pour couvrir ces dépenses, au regard de ses connaissances et de son expérience dans le domaine de l'éolien en mer. **Au moment de la mise en service du parc, il devra émettre une garantie financière en faveur de l'État d'un montant supérieur à 50 000 euros par mégawatt, ce qui correspond à 300 000 euros au moins par éolienne de 6 mégawatts, soit 22,5 millions d'euros au moins pour les 75 éoliennes prévues au large de Courseulles-sur-Mer.**

2.5.d. LE FINANCEMENT DU PROJET

Au regard des conditions du marché bancaire au moment de la décision d'investissement, le plan de financement envisagé pour la construction du projet reposera sur une combinaison d'apports en fonds propres du maître d'ouvrage et d'emprunt bancaire.

2.6. LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ÉOLIENNE ATTENDUE

2.6.a. L'ÉNERGIE DU VENT TRANSFORMÉE EN ÉLECTRICITÉ

Sous l'effet du vent, les trois pales d'une éolienne se mettent en mouvement ; elles tournent relativement lentement, de 4 à 12 tours par minute.

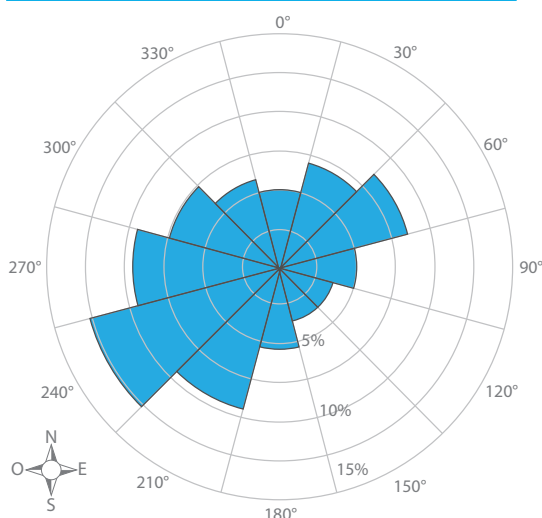
Le mouvement des pales entraîne un axe situé dans la nacelle de l'éolienne (appelé arbre principal) et relié à un alternateur⁴⁸. Grâce à l'énergie fournie par la rotation de l'axe, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. L'électricité est ensuite traitée par un convertisseur, puis sa tension est élevée par un transformateur situé à l'intérieur du mât. L'électricité est alors acheminée par câble jusqu'au poste électrique en mer pour être injectée sur le réseau de transport d'électricité.

2.6.b. UN FONCTIONNEMENT DES ÉOLIENNES POUR DES VITESSES DE VENT COMPRIS ENTRE 10 ET 90 KM/H

La plupart des éoliennes sont conçues pour fonctionner avec des vitesses de vent comprises entre 3 mètres par seconde (10 km/h) et 25 mètres par seconde (90 km/h). Elles fonctionnent à pleine puissance à partir de 12 mètres par seconde (45 km/h). Un anémomètre et une girouette situés sur la nacelle permettent de mesurer en permanence la vitesse du vent et de déterminer sa direction. Lorsque la vitesse du vent est suffisante, le rotor est placé face au vent afin de capter son énergie dans les meilleures conditions. **Au-delà de 90 km/h, les pales de l'éolienne tournent autour de leur**

axe pour diminuer la résistance au vent et l'éolienne s'arrête de fonctionner, pour des raisons de sécurité. Les pales d'une éolienne constituent ses freins aérodynamiques mais chacune dispose également d'un verrou hydraulique qui peut être actionné pour des raisons de sécurité ou de maintenance. **En mer, de façon générale, les vitesses moyennes de vent mesurées sont de l'ordre de 8 mètres par seconde (27 km/h).**

Rose des vents du projet de Courseulles-sur-Mer à hauteur du moyeu⁴⁹ de la nacelle



Natural Power 2011

⁴⁹ Partie centrale sur laquelle sont fixées les trois pales de l'éolienne.

⁴⁸ Un alternateur est une génératrice électrique effectuant la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique alternative. Un alternateur à aimants permanents utilise des aimants à la place de bobines pour créer un champ magnétique au niveau du rotor. Ce type de génératrice d'électricité présente une compacité plus importante que les alternateurs habituellement utilisés sur les éoliennes et une plus grande fiabilité.

2.6.c. UNE PRODUCTION ÉLECTRIQUE DE 1 500 GIGAWATTHEURES PAR AN

Les éoliennes du projet fonctionneront environ 90 % du temps et produiront autant d'électricité que si elles fonctionnaient à pleine puissance pendant 38 % du temps.

La puissance électrique délivrée par une éolienne est fonction de ses caractéristiques et de la vitesse du vent. Les éoliennes en mer bénéficient de vents plus réguliers et plus forts que les éoliennes terrestres. Cet avantage s'exprime au travers du facteur de charge annuel moyen, rapport entre la production électrique sur une année et celle qui serait produite durant cette même période si l'éolienne fonctionnait en permanence au niveau maximal de sa puissance. Le facteur de charge annuel moyen des éoliennes terrestres en

France s'établit aujourd'hui à 23 %. On estime qu'une éolienne Alstom Haliade en mer produira autant d'électricité que si elle fonctionnait à pleine puissance pendant 38 % du temps.

La vitesse moyenne du vent sur la zone, à 100 mètres de hauteur, est estimée à 8,3 mètres par seconde (30 km/h).

D'après les données météorologiques, le vent dominant sur la zone du projet de parc éolien provient du secteur sud-ouest. C'est le vent le plus fréquent et le plus énergétique.

Sur une année, la production électrique du parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer serait de plus de 1 500 gigawattheures.

Pour donner un ordre de grandeur, la consommation électrique de la Basse-Normandie en 2011 était, selon RTE, de 10 000 gigawattheures et la production de 19 000 gigawattheures.

Vue de la nacelle d'une éolienne Alstom Haliade 150 - 6 MW



2.7. BILAN CARBONE

BILAN CARBONE DU PROJET DE PARC ÉOLIEN EN MER DE COURSEULLES-SUR-MER

La réalisation d'un bilan carbone consiste à comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou d'une activité en prenant en compte l'ensemble de ses composantes. La méthode Bilan Carbone®, élaborée par l'ADEME, désigne à la fois une méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre et l'ensemble des outils permettant de la mettre en œuvre. C'est un indicateur clef permettant de caractériser la contribution d'une activité au changement climatique.

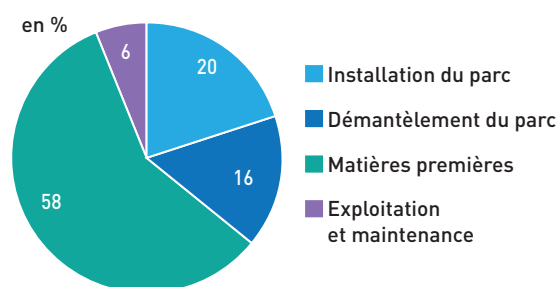
Cette méthode, appliquée au projet de parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer, aboutit au résultat de 17,6 g. eq. CO₂ par kilowattheure produit. Ce chiffre prend en compte une durée de production du parc éolien de 25 ans.

Par comparaison, ce chiffre s'élève à 72 g. eq. CO₂ par kilowattheure pour la production d'électricité à partir de l'ensemble du parc électrique français.

Comparaison du bilan carbone de la production d'électricité en France, en Europe et celui du projet de parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer

| | Émission CO ₂ en g eq. CO ₂ /kWh produit |
|---------------------------|--|
| Production moyenne France | 72 |
| Production moyenne UE27 | 306 |
| Production du parc éolien | 17,6 |

Emissions de GES par catégorie



EDF EN

Ces résultats prennent en compte les impacts carbone des différents moments de la vie du parc. Les émissions de gaz à effet de serre ont été calculées lors des étapes suivantes⁵⁰ :

- **fabrication** des éoliennes, des fondations, du poste électrique en mer et des câbles incluant les émissions de gaz à effet de serre par les matières premières nécessaires à leur fabrication ;
- **assemblage, transport et installation** du parc éolien en mer ;
- **exploitation et maintenance** du parc ;
- **démantèlement** du parc avec recyclage des métaux.

L'électricité produite par le parc éolien émettra donc quatre fois moins de gaz à effet de serre que celle produite par le parc électrique français.

⁵⁰ Les résultats ne prennent pas en compte le fret des produits semi-finis et matériaux (acier, béton...) vers les usines de fabrication des composants. L'énergie pour l'extraction, le transport et la transformation du minerai en matière première nécessaire à la construction des composants est bien prise en compte.

SYNTHÈSE

Le projet du maître d'ouvrage prévoit l'installation d'un parc éolien en mer d'une puissance de 450 mégawatts à plus de 10 km au large des côtes de Courseulles-sur-Mer, sur une surface de 50 km². L'investissement du projet est estimé à 1,8 milliard d'euros. Sa mise en service devrait s'effectuer progressivement de 2018 à 2020. Pendant 25 ans environ, il pourrait couvrir la consommation électrique domestique moyenne de 630 000 personnes. En fin d'exploitation, le parc éolien sera démantelé et le site sera remis en état (une garantie financière d'au moins 22 millions d'euros sera constituée à la mise en service).