

Quelles seraient les grandes caractéristiques des deux parcs éoliens flottants au sud de la Bretagne ?

Les principaux points abordés

Cette fiche décrit les principales caractéristiques techniques d'un parc d'éoliennes flottantes en mer. Ainsi, elle présente :

- les principales composantes d'un parc éolien en mer flottant, à savoir :
 - l'éolienne,
 - le flotteur et le système d'ancrage ;
- les grandes étapes de réalisation d'un parc éolien en mer :
 - la construction,
 - l'exploitation et le démantèlement ;
- l'explication de l'échelonnement du projet en deux temps par la construction d'un premier parc de 250 MW, puis d'un second d'une puissance jusqu'à 500 MW.

Le débat public porte sur la recherche de zones préférentielles pour un parc d'éoliennes flottantes de 250 MW qui fera l'objet d'une procédure de mise en concurrence en 2021 comme le prévoit la programmation pluriannuelle de l'énergie, et pour un second parc de 500 MW maximum qui pourra être attribué à partir de 2024. Le raccordement fait partie intégrante du projet et fait l'objet de la fiche #16.

Compte tenu de la consultation du public à un stade très précoce, le débat public ne porte pas sur un projet précis puisque, hormis la puissance recherchée, les décisions sur ce projet ne sont pas encore prises. Les caractéristiques générales de projets éoliens en mer sont exposées ici afin d'informer le public sur le dimensionnement et le processus d'élaboration de tels projets afin qu'il puisse exprimer son avis en vue de la procédure de choix des lauréats.

1. Les principales composantes d'un parc éolien en mer

a. L'éolienne

Une éolienne est constituée d'un mât, d'une nacelle et de pales. En mer, elle peut soit être posée sur le fond marin (technologie posée), soit reposer sur une base flottante ancrée aux fonds marins (technologie flottante). Compte tenu de la profondeur des fonds marins de la façade Nord Atlantique - Manche Ouest (la profondeur limite de 50 m étant atteinte rapidement), les projets éoliens en mer au sud de la Bretagne utiliseront la technologie flottante.

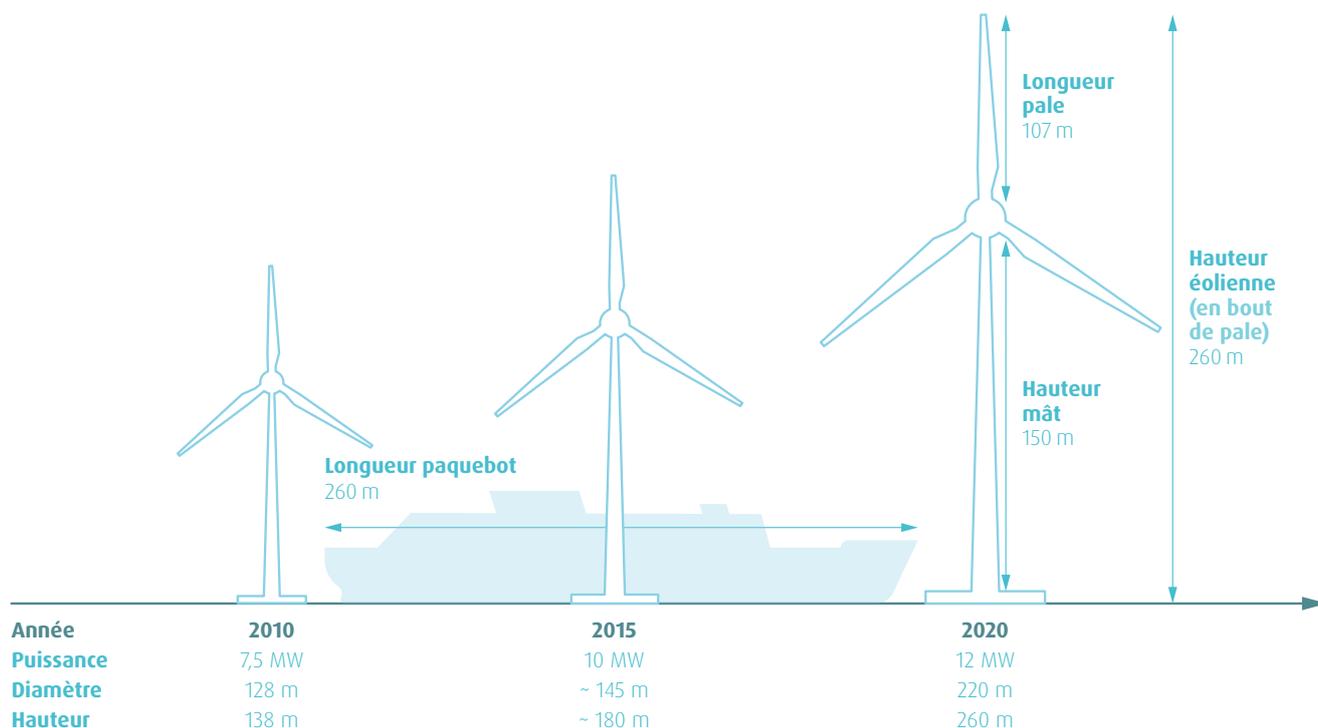
La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales : plus le diamètre de l'éolienne est grand, plus elle peut produire d'électricité. Par conséquent, pour une puissance totale donnée, plus les éoliennes sont grandes et moins elles sont nombreuses. Par exemple, pour réaliser un parc d'environ 250 MW, 42 éoliennes sont nécessaires avec des modèles produisant 6 MW, alors que 25 éoliennes sont nécessaires avec des modèles de 10 MW et 19 avec des modèles de 13 MW.

La surface totale occupée dans ces trois cas de figure resterait globalement identique, car l'espacement entre les éoliennes doit être d'autant plus grand que les éoliennes sont grandes. Cette même surface serait cependant composée d'un nombre bien plus faible d'obstacles, nécessitant moins de travaux d'implantation et d'artificialisation sur les fonds marins.

En France, les premiers parcs éoliens en mer posés occuperont chacun une superficie de l'ordre de 50 km² à 80 km², comprenant 60 à 80 éoliennes, espacées les unes des autres d'environ un kilomètre.

Les progrès technologiques ont été particulièrement rapides dans l'industrie de l'éolien en mer, ce qui se reflète principalement par la hausse de la puissance des éoliennes, comme l'illustre l'infographie suivante. Cette hausse permet de produire plus d'énergie par éolienne, ce qui a permis une forte baisse des coûts de l'éolien en mer. Pour le premier parc de 250 MW envisagé à l'issue du débat public, les éoliennes pourraient disposer d'une puissance de 12 MW et seraient 21 au maximum. Cela correspond au modèle d'éolienne la plus puissante en cours de développement à ce jour, par General Electric. Si avec les progrès technologiques, une éolienne plus puissante était commercialisée entre-temps, le parc envisagé pourrait avoir moins d'éoliennes. Celles-ci seraient alors de plus grande taille, sous réserve de conformité avec les contraintes de défense, notamment.

La hauteur des éoliennes en mer a environ doublé entre 2010 et 2016. L'espace balayé par les pales des nouvelles installations devrait sensiblement augmenter dans les prochaines années.



Les dimensions représentées correspondent à celles de l'éolienne la plus grande construite à ce jour : l'éolienne de GE Haliade-X 12 MW. Les perspectives d'évolution de puissance et de taille des éoliennes dans les années à venir restent difficilement prévisibles.

La superficie de la zone projet identifiée à la suite du débat public devrait faire environ 600 km². Le projet sera ensuite recentré en s'appuyant sur des études plus fines de la zone : *in fine*, l'emprise réelle du projet sera d'environ 150 km² (50 km² pour 250 MW attribués en 2021 et 100 km² pour 500 MW attribués à partir de 2024).

b. Le flotteur et le système d'ancrage

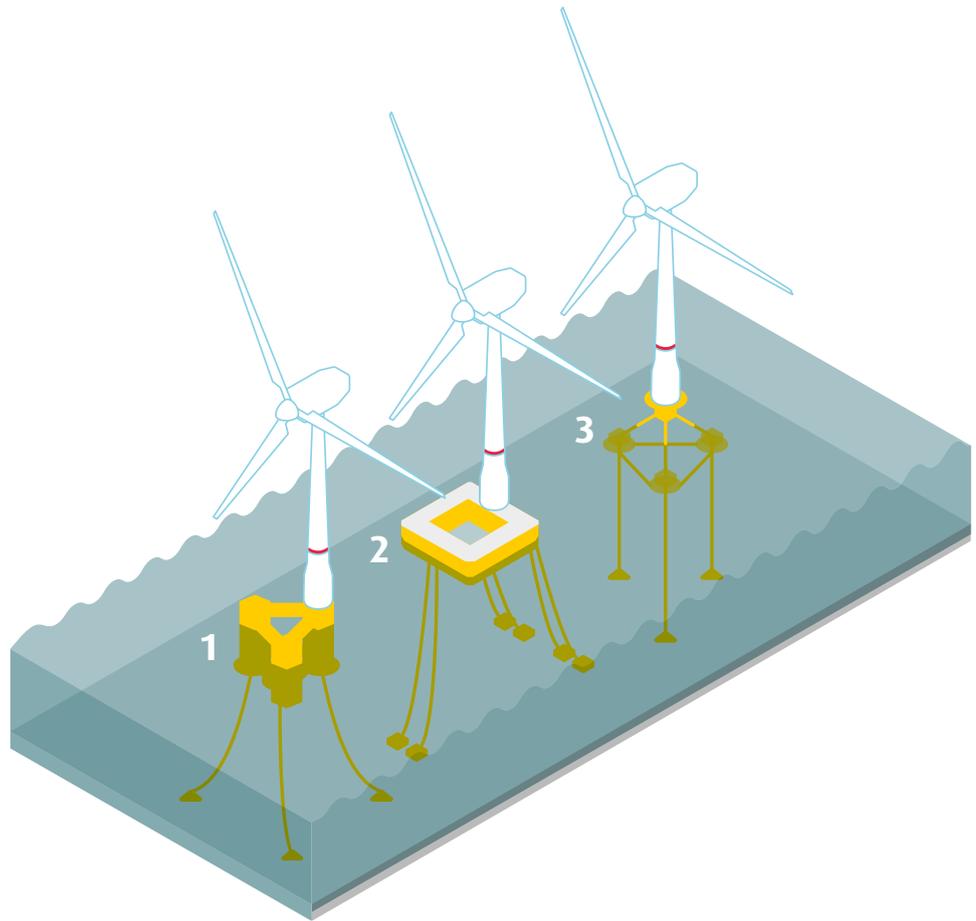
Contrairement aux éoliennes posées en mer, qui reposent sur le fond, les structures flottantes sont maintenues par des lignes d'ancrage reliées aux fonds marins. Plusieurs technologies existent actuellement :

- la plateforme semi-submersible avec ancrage caténaire : le flotteur est stabilisé par sa forme qui comporte des volumes immergés. Les lignes d'ancrage doivent seulement résister aux efforts de dérive ;
- la barge : la fondation flottante est ouverte en son centre afin de permettre une stabilisation du flotteur. Les lignes d'ancrage sont reliées au fond marin de manière à maintenir l'ensemble en position ;
- la plateforme avec ancrage à lignes tendues (*Tensioned Leg Platform* ou TLP) : la stabilité est obtenue grâce à un flotteur maintenu sous la surface de l'eau par des lignes qui le tirent vers le fond. Les lignes d'ancrage verticales doivent résister à des forces importantes dues à la pré tension des lignes, en plus des efforts de dérive. Les ancrages sont en général maintenus par des pieux forés dans le sol ;
- la bouée équipée d'un flotteur de type « bouée crayon » (*Single point anchor reservoir* ou SPAR) : l'équilibre est assuré par le poids du flotteur immergé sur une grande hauteur. Ce concept ne peut s'envisager que si la profondeur d'eau est suffisante, c'est-à-dire supérieure à 100 mètres en général.

Les ancres peuvent être de différentes technologies : ancre de type marine, corps-mort, ancre à suction. Les chaînes d'ancrage sont généralement en acier mais d'autres types de matériaux pourraient être utilisés comme le nylon.

Types d'ancrage pour l'éolien flottant

1. Support semi-submersible à lignes d'ancrage libres
2. Support barge à lignes d'ancrage libres
3. Support flottant à lignes d'ancrage tendues (TLP)



2. Les principales étapes de la réalisation d'un parc éolien en mer

a. La construction du parc éolien en mer

L'assemblage des différentes parties des éoliennes (mats, nacelles, pales) sur leur flotteur sera réalisé à terre ; elles seront ensuite remorquées sur la zone d'implantation.

Les grandes phases de l'installation en mer du parc sont :

- la pose et la protection de la liaison sous-marine du raccordement et jonction avec la partie terrestre ;
- l'installation des ancres et des lignes d'ancrage ;
- le remorquage et la connexion des éoliennes flottantes aux lignes d'ancrage ;
- la pose et la connexion des câbles inter-éoliennes aux éoliennes flottantes ;
- la mise en service du parc et du raccordement.

Les travaux en mer impliqueront la présence simultanée de plusieurs bateaux de différents types (remorqueur, navires de ravitaillement en mer hauturier, navette de transport de personnel, câblage, barge d'assistance, navire auxiliaire et de service, etc.) sur site pendant des durées variables.

Les éoliennes, à l'intérieur d'un parc, seront reliées entre elles et raccordées à un poste électrique en mer par des câbles électriques installés par le producteur.

Un câble électrique sous-marin inter-éoliennes est constitué de trois conducteurs en cuivre, chacun gainé par un matériau hautement isolant, le polyéthylène réticulé, permettant une utilisation jusqu'à un niveau de tension de 66 kV. Une armure extérieure constituée notamment d'une tresse en acier galvanisé, servant à protéger le câble, regroupe les trois conducteurs et

un faisceau de fibres optiques pour former un câble d'un seul tenant. Les fibres optiques permettent de créer un réseau de communication entre les éoliennes et le poste de livraison. Ces câbles sont dynamiques sur une partie (de conception différente) pour absorber les mouvements de l'éolienne flottante liés à la houle ou la marée.

La puissance installée totale du parc serait à terme de 750 MW en deux phases, une première phase de 250 MW sera attribuée en 2021, une seconde jusqu'à 500 MW sera attribuée à partir de 2024 avec un raccordement mutualisé.

Cette mesure permet de limiter l'impact environnemental du raccordement, et d'en réduire les coûts.

Les principales caractéristiques du projet

- Puissance : 250 MW attribués en 2021, jusqu'à 500 MW attribués à partir de 2024
- Technologie : éolien flottant
- Nombre d'éoliennes : avec des éoliennes de 12 MW, 21 éoliennes pour la première phase et 42 pour la seconde
- Superficie du parc : 50 km² environ pour la première phase, 100 km² pour la seconde
- Raccordement : mutualisé

b. L'exploitation et la maintenance d'un parc éolien en mer

L'exploitation et la maintenance des parcs sont réalisées pendant toute la durée de vie du parc (25 à 30 ans environ), depuis la mise en service des installations jusqu'au démantèlement.

Elle est assurée depuis une base portuaire de maintenance située préférentiellement à proximité immédiate du parc, qui doit être accessible 24 h/24 et 7 j/7 en cas d'urgence.

La liaison entre le port et les éoliennes se fait par des navires spécifiques (navire de transport de personnel) disposant d'une étrave (pièce saillante qui forme la proue d'un navire) adaptée permettant un transfert sécurisé des techniciens du navire vers l'éolienne et *vice versa*. En cas d'urgence, un transfert par hélicoptère est possible.

La durée de vie d'un parc éolien en mer dépend de ses caractéristiques et des conditions climatiques auxquelles il fait face. Il existe encore peu de retours d'expérience, mais les industriels estiment aujourd'hui que les installations pourront fonctionner au moins 30 ans avant d'être démantelées. Le premier parc posé en mer installé au monde, à Vindeby au Danemark, a été exploité pendant 26 ans avant d'être démantelé en 2017.

3. Pourquoi d'abord un parc éolien en mer flottant de 250 MW, puis un autre allant jusqu'à 500 MW ?

En repoussant les limites de profondeur d'installation, l'éolien flottant élargit les gisements potentiels pour l'éolien en mer. La France détiendrait le second gisement européen (11 GW), dont une part conséquente au large des côtes bretonnes, après le Royaume-Uni (48 GW)¹.

La filière éolienne flottante est aujourd'hui au stade de développement pré-commercial. Son coût a vocation à baisser rapidement dans le cadre des futures fermes commerciales, et une convergence est anticipée entre les prix de l'éolien flottant et ceux de l'éolien posé d'ici une dizaine d'années, à condition de bénéficier d'un volume suffisant pour créer une filière industrielle compétitive. Une étude de BVG Associates et d'Innosea pour

le compte de l'ADEME a identifié les perspectives de réduction des coûts de l'éolien en mer en France d'une situation de référence en 2015 jusqu'à l'horizon 2030 sur tous les éléments constituant la chaîne de valeur de l'éolien. Cette étude montre que les réductions de coûts sur les turbines (augmentation des performances, augmentation de la taille et la puissance des machines, industrialisation) sont les moteurs principaux de la réduction des coûts. Comme pour l'éolien posé, le développement de la filière conduira à une réduction des coûts de financement.

La programmation pluriannuelle de l'énergie prévoit la désignation en 2021 du lauréat pour le premier parc commercial français d'éolien en mer flottant d'une puissance de 250 MW au sud de la Bretagne. Ce premier parc permettra en partie de tirer profit des expériences menées dans les fermes pilotes et notamment celle de Groix - Belle-Île. Elle identifie également d'autres volumes à attribuer pour les années suivantes, avec la programmation d'attribution d'un gigawatt par an à partir de 2024, dont des extensions des premiers parcs flottants de 250 MW avec un raccordement mutualisé. Ce second parc, d'une puissance pouvant aller jusqu'à 500 MW, pourra s'appuyer sur les enseignements tirés du premier et ainsi proposer un tarif d'achat plus attractif, la technologie ayant évolué et gagné en maturité, réduisant les risques, donc les coûts.

Il s'agit d'une accélération significative du rythme de développement des énergies renouvelables. Cette progressivité des volumes des appels d'offres commerciaux vise à permettre à la France d'accélérer concrètement sa transition énergétique et de structurer une filière industrielle qui peut se placer dès maintenant en tête d'un marché mondial.

1



¹ <https://bretagne.ademe.fr/retours-dexperience/energies-renouvelables-et-reseaux-de-stockage/eolien/eolien-en-mer-ou-offshore>

