

# Éoliennes en mer (offshore)



## Définition et catégories

Une éolienne offshore, c'est à dire installée en mer, permet de convertir la force du vent en [électricité](#). Le terme anglais « *offshore* » signifie littéralement « hors côtes », par opposition aux [éoliennes terrestres](#) ou « *onshore* ». Les éoliennes offshore fonctionnent selon le même principe que les modèles terrestres traditionnels : elles utilisent l'énergie cinétique du vent pour la transformer en électricité. Lorsqu'une éolienne produit de l'électricité, on peut également la qualifier d'aérogénérateur.

Le vent fait tourner [des pales, généralement trois](#). Celles-ci entraînent un générateur qui transforme l'énergie mécanique créée en énergie électrique, suivant le principe d'une dynamo. [La différence principale](#) entre un modèle marin et un modèle terrestre d'éolienne tient à la nature des fondations, qui lui permettent d'être fixée dans le sol ou ancrée au fond de la mer (sauf dans [le cas des éoliennes « flottantes »](#)). Les éoliennes offshore doivent également être très robustes afin de résister aux conditions marines difficiles.

Les éoliennes offshore sont le plus souvent rassemblées dans un « parc éolien » ou « ferme éolienne » comportant généralement entre 20 et 50 éoliennes de plusieurs mégawatts (MW) de puissance unitaire. Les parcs offshore traditionnels ne sont généralement pas installés dans des zones où la profondeur dépasse 40 mètres.

Certaines installations « *farshore* » c'est-à-dire au large (plus de 30 kilomètres des côtes), dotées de bases flottantes, sont aujourd'hui en phase de conception.

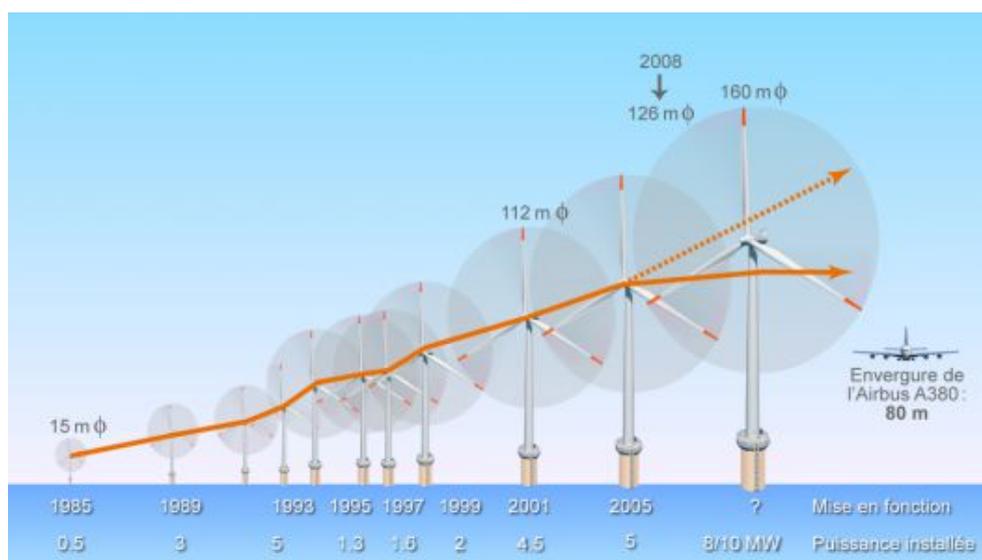
## Des caractéristiques propres au contexte marin

Les éoliennes offshore sont spécialement conçues pour résister à la corrosion. Elles possèdent également des capteurs spécifiques pour un contrôle accru. La nacelle et la tour sont équipées de systèmes de contrôle et de régulation de l'humidité et de la température pour éviter tout risque de corrosion interne. La nacelle est équipée de deux grues hydrauliques permettant la manutention d'outils et de pièces de rechange en tout point de l'éolienne.

## L'évolution des installations éoliennes offshore

Si les premiers prototypes d'éoliennes offshore étaient de simples copies des éoliennes terrestres, les machines se sont peu à peu adaptées à la mer. Les développements technologiques actuels, et en particulier l'évolution attendue des machines en taille et en puissance, sont d'ailleurs caractéristiques des éoliennes offshore.

Alors que le parc de Thorntonbank, installé en 2008 au large d'Ostende, en Belgique, utilisait des turbines de 5 MW, [des éoliennes de 8 MW de puissance unitaire sont aujourd'hui développées et des modèles de 10 MW à l'étude.](#)



Évolution de la taille et de la puissance des éoliennes offshore  
(©Connaissance des Énergies)

Les éoliennes offshore se différencient également de plus en plus des éoliennes terrestres par leur conception technique adaptée au milieu marin. Si elles ont le même aspect, leur conditions de fonctionnement sont différentes. Les fondations marines sont l'aspect le plus notable de leurs particularités puisqu'elles doivent être ancrées ou enfoncées dans le fond marin. Elles doivent également résister à la corrosion, aux tempêtes et aux efforts créés par les masses d'eau alentour.

### **La rupture technologique attendue de l'éolien flottant *farshore***

Les premiers projets éoliens offshore ont consisté à installer des éoliennes en eaux peu ou moyennement profondes, de 5 à 40 mètres de profondeur. Au-delà il est difficile et très coûteux de planter l'éolienne dans le fond marin ou de déposer sa base. S'affranchir de la contrainte de la profondeur d'eau est une piste intéressante, surtout dans les pays comme la France où les profondeurs dépassent rapidement les 40 mètres lorsque l'on s'éloigne de la côte.

A fin 2017, la profondeur moyenne des parcs éoliens en mer dans les eaux européennes était de 27,5 m, ceux-ci étant en moyenne situés à 41 km des côtes.

Des projets d'éoliennes flottantes, situées à plusieurs kilomètres des côtes à plus de 50 mètres de profondeur, offrent des perspectives intéressantes, notamment en France ([prototype Floatgen d'Ideol, au large du Croisic, projets en Bretagne et en Méditerranée](#)). Contrairement aux éoliennes offshore traditionnelles, leurs fondations ne sont pas enfoncées dans le fond marin mais ancrées au moyen de câbles. C'est pourquoi leur installation est simplifiée et les besoins en matériaux grandement diminués.

## **Enjeux par rapport à l'énergie**

### **Avantages et inconvénients de la technologie éolienne offshore**

Un nouveau potentiel éolien

- La technologie de l'éolien offshore a bénéficié d'une grande partie des avancées technologiques récentes de l'éolien terrestre, une des énergies renouvelables les plus matures.

- La mer étant plane, les vents rencontrent moins d'obstacles et sont par conséquent plus soutenus, plus réguliers et moins turbulents que sur terre. A puissance égale, une éolienne offshore peut produire jusqu'à 2 fois plus d'électricité qu'une éolienne terrestre.
- La mer offre de grands espaces libres d'obstacles, où l'implantation des machines est possible, sous réserve de concertation avec les autres usagers de la mer.

### Limites rencontrées pour leur exploitation

- Les investissements initiaux dans des projets éoliens offshore sont très sensiblement plus élevés à ceux dans des projets à terre, notamment en raison des coûts additionnels liés aux fondations et au raccordement<sup>(1)</sup>.
- Bien que les vents soient plus constants en mer que sur terre, l'énergie éolienne offshore est également [intermittente](#).
- L'éolienne est soumise mécaniquement non seulement aux efforts du vent sur les pales et la structure, mais aussi aux efforts créés par les courants.
- L'installation des éoliennes en mer est plus compliquée que sur terre. Des bateaux adaptés doivent être employés. La maintenance des éoliennes est également plus compliquée et plus coûteuse qu'à terre. Si une panne survient, il peut se passer plusieurs jours avant la réparation, ce qui entraîne une perte de production.
- Le raccordement électrique nécessite l'installation de câbles sous-marins jusqu'à la côte qui peut être distante de plusieurs kilomètres. [Pour les grandes distances, il faut recourir à un acheminement en courant continu](#) et associer des convertisseurs électroniques de puissance afin d'atténuer les pertes d'électricité.

## Acteurs majeurs

### Les constructeurs

En 2016, le chinois Sewind (qui construit en partie des éoliennes Siemens sous licence) et l'allemand Siemens étaient de loin les deux principaux constructeurs d'éoliennes offshore selon *Bloomberg New Energy Finance*<sup>(2)</sup> (Siemens Wind Power a depuis fusionné avec le groupe espagnol

Gamesa en avril 2017<sup>(3)</sup>). MHI Vestas est également un constructeur majeur d'éoliennes offshore.

## Les opérateurs

Le danois Ørsted (ex-Dong Energy), l'allemand E.ON Climate and Renewables et le suédois Vattenfall et le danois DONG sont les principaux opérateurs de parcs éoliens offshore dans le monde.

## Unités de mesure et chiffres clés

La **densité énergétique** d'un parc éolien offshore, c'est-à-dire la puissance installée sur 1 km<sup>2</sup> de surface de mer, permet d'appréhender la productivité potentielle d'un site. Elle est de l'ordre de 8 MW/km<sup>2</sup> en moyenne pour 2 à 3 éoliennes installées par kilomètre carré, et peut atteindre 15 à 20 MW/km<sup>2</sup> dans des sites très ventés.

L'**échelle de Beaufort** est une échelle cotée de 0 à 12 degrés, proposée par l'amiral Beaufort en 1806 (modifiée en 1946), et utilisée pour mesurer la force du vent (échelle de Douglas).

Une éolienne offshore commence à fonctionner par un vent de 2 Beaufort (environ 10 km/h ou 3 m/s), atteint sa vitesse de croisière à 6 Beaufort (45 km/h ou 12 m/s), et doit être arrêtée à 11 Beaufort (110 km/h, 30 m/s). Le rapport entre le nombre d'heures de fonctionnement en équivalent pleine puissance et le nombre d'heures de fonctionnement théorique dans l'année (8 760 h) est appelé [facteur de charge](#). Selon WindEurope, les facteurs de charge des parcs éoliens offshore en Europe sont compris entre 29% et 48%<sup>(4)</sup>.

L'éolien offshore a connu de fortes réductions de coûts au cours des dernières années, comme en témoigne l'attribution en novembre 2016 du projet danois de Kriegers Flak à Vattenfall à un prix de 49,9 €/MWh<sup>(5)</sup>.

## Zone de présence ou d'application

L'exploitation de la ressource éolienne en mer convient particulièrement aux pays à forte densité de population ayant des difficultés à trouver des sites appropriés sur terre et disposant d'un espace maritime côtier conséquent et venté.

L'Europe du Nord est particulièrement bien dotée pour l'exploitation de l'énergie éolienne offshore, avec des vitesses de vent supérieures à 8 m/s à 50 m de hauteur, soit une densité de puissance supérieure à 600 W/m<sup>2</sup>. Afin d'empêcher les collisions, ces parcs sont signalés sur les cartes maritimes et visuellement, par l'emploi de lumières de positionnement.

Le Royaume-Uni dispose du premier parc éolien offshore au monde, devant l'Allemagne et la Chine. A fin 2016, près de 88% des installations éoliennes offshore dans le monde étaient situées dans les eaux de 10 pays européens<sup>(6)</sup>.

## Passé et présent

**1991** : le premier parc éolien offshore au Danemark est installé sur le site de Vindeby à 2,5 km de la côte en eaux très peu profondes (moins de 5 mètres). Les 11 éoliennes installées d'une puissance unitaire de 450 kW ne sont alors que des éoliennes terrestres légèrement modifiées.

**Années 1990** : le Danemark et deux autres pays pionniers du secteur éolien offshore (les Pays-Bas et la Suède) lancent des programmes de valorisation du vent maritime. Ces pays disposent de plateaux continentaux étendus et peu profonds propices à l'installation d'éoliennes offshore.

**Milieu des années 2000** : le Royaume-Uni et l'Allemagne se lancent à leur tour dans l'éolien offshore à grande échelle. Avec le parc de Middelgrunden, le Danemark inaugure en 2001 le plus grand parc éolien offshore de l'époque et une nouvelle génération d'éoliennes : 20 éoliennes de 2 MW, distantes de 180 m et disposées en un arc de cercle de 3,4 km de long.

**2011** : la France lance un premier appel d'offres sur l'éolien offshore dont [les résultats sont annoncés en avril 2012](#) : 4 sites sont attribués pour une capacité installée prévue de près de 1 930 MW.

**2017** : plus de 3,1 GW de nouvelles capacités éoliennes offshore sont installées (et raccordées au réseau) cette année-là selon WindEurope<sup>(7)</sup>, un record (560 nouvelles éoliennes réparties entre 17 parcs). Cela porte à 15 780 MW la puissance éolienne offshore installée en Europe à fin 2017. WindEurope n'a en revanche pas communiqué la production électrique associée cette année-là.

## Futur

Les technologies d'éolien *farshore*, c'est-à-dire en haute-mer à plus de 30 kilomètres des côtes, ouvrent des perspectives encore plus intéressantes que l'éolien offshore classique. En effet, le vent du large est plus régulier et plus soutenu, sans compter que le partage de l'espace maritime y est moins problématique que près des côtes. Du fait de la complexité de la fabrication et de l'installation d'éoliennes à base flottante, ces technologies en sont encore à la phase de recherche pré-industrielle.

Selon WindEurope, le parc éolien offshore en Europe pourrait disposer d'une puissance totale installée de 25 GW en 2020 (contre 15,8 GW à fin 2017). En France, 7 projets éoliens offshore ont été attribués par appels d'offres depuis 2012. Aucun n'est encore en activité à fin septembre 2020, et le premier à démarrer devrait être Saint-Nazaire en 2022.