



## FICHE N°15

### Quelles seraient les grandes caractéristiques des parcs éoliens flottants ?

#### LES PRINCIPAUX POINTS ABORDÉS

Cette fiche décrit les principales caractéristiques techniques d'un parc d'éoliennes flottantes et 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.

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 cible, 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 et lui permettre de s'exprimer sur la procédure de mise en concurrence.

#### LES PRINCIPALES COMPOSANTES D'UN PARC ÉOLIEN EN MER

##### L'éolienne

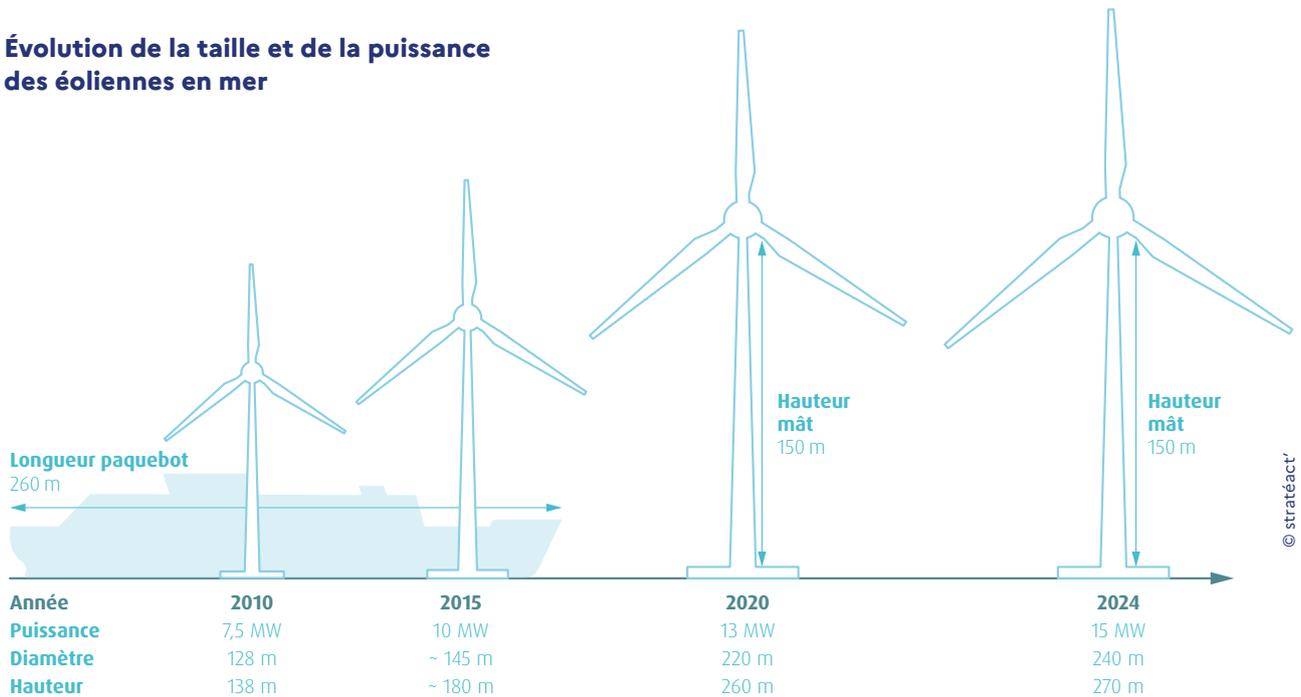
Une éolienne est constituée d'un mât, d'une nacelle et de pales. En mer, elle peut soit être posée sur le fond marin (technologie posée), soit reposer sur une base flottante ancrée aux fonds marins (technologie flottante). Compte tenu de la profondeur des fonds marins sur la façade Méditerranée (la profondeur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

L'énergie qui peut être extraite par une éolienne, l'énergie cinétique, dépend notamment de la vitesse du vent et de la surface balayée par les pales lors de leur rotation. Cette énergie augmente avec la vitesse du vent et cette surface balayée : 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.



## Évolution de la taille et de la puissance des éoliennes en mer



En France, les premiers parcs éoliens en mer posés occuperont chacun une superficie de l'ordre de 50 km<sup>2</sup> à 80 km<sup>2</sup>, comprenant 60 à 80 éoliennes, espacées les unes des autres d'environ un kilomètre. L'emprise prévisionnelle du projet serait située entre 30 à 50 km<sup>2</sup> pour le parc de 250 MW et entre 60 et 100 km<sup>2</sup> pour le parc de 500 MW, soit environ 150 km<sup>2</sup> au maximum.

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 les deux premiers parcs de 250 MW envisagés à l'issue du débat public, les éoliennes pourraient disposer d'une puissance de 13 MW et seraient 19 au maximum. Cela correspond à un modèle d'éolienne testé actuellement dans le port de Rotterdam. Si, avec les progrès technologiques, une éolienne plus puissante était commercialisée entre-temps, les parcs envisagés pourraient avoir moins d'éoliennes. Celles-ci seraient alors de plus grande taille, sous réserve de conformité avec les contraintes de défense, notamment.

### Le flotteur et le système d'ancrage

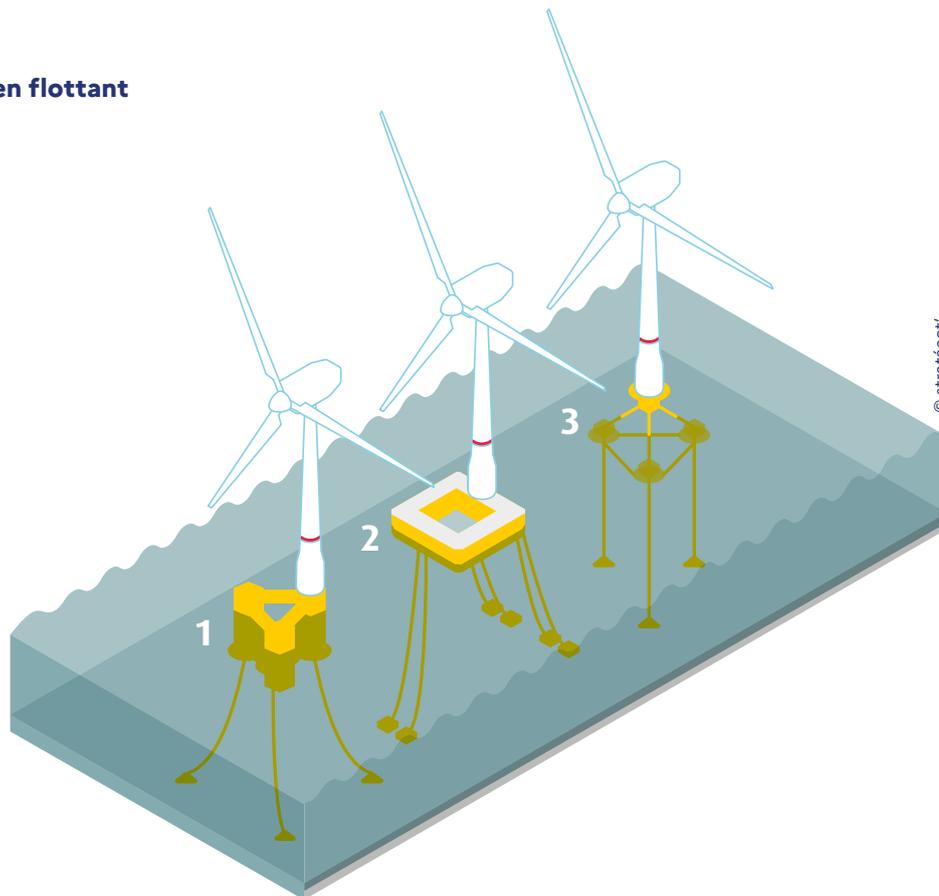
Contrairement aux éoliennes posées en mer, qui reposent sur le fond, les structures flottantes sont maintenues par des lignes d'ancrage reliées aux fonds marins. Plusieurs technologies existent actuellement :

- ~ 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 et doivent seulement résister aux efforts de dérive ;
- ~ 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 tension des lignes, en plus des efforts de dérive. Les ancrages peuvent être maintenus par des pieux forés dans le sol ou des caissons à succion (systèmes d'ancrages utilisant une technique de succion pour s'arrimer au sol) ;
- ~ le 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 ancrages peuvent faire appel à différentes technologies : ancre de type marine (appelées ancres à enfouissement), corps-mort, ancre à succion, pieux. 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)



Les dimensions des flotteurs varient fortement en fonction de la technologie retenue et de la taille des éoliennes. Il est aujourd'hui compliqué de prédire la taille des flotteurs qui pourraient être installés dans le cadre de ce projet. La hauteur émergée pourrait aller de quelques mètres à une dizaine de mètres, la hauteur immergée de quelques mètres (technologie barge) à une centaine de mètres (technologie SPAR) et le diamètre équivalent du flotteur au niveau de la ligne d'eau d'une dizaine de mètres (technologie SPAR) à légèrement moins d'une centaine de mètres (technologie semi-submersible).

### Les câbles électriques inter-éoliennes

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.

### Les principales caractéristiques du projet

- ~ Puissance : deux fois 250 MW attribués en 2022, deux extensions de 500 MW chacune attribuées à partir de 2024 ;
- ~ Technologie : éolien flottant ;
- ~ Nombre d'éoliennes : avec des éoliennes de 13 MW, 19 éoliennes pour la première phase et 33 pour la seconde avec des éoliennes de 15 MW ;
- ~ Superficie du parc : 30 à 50 km<sup>2</sup> pour chaque parc de 250 MW et environ 60 à 100 km<sup>2</sup> pour chaque extension de 500 MW ;
- ~ Raccordement : mutualisé entre chaque parc et son extension. Cette mesure permet de limiter l'impact environnemental du raccordement, et d'en réduire les coûts.



## LES PRINCIPALES ÉTAPES DE LA RÉALISATION DES PARCS ÉOLIENS EN MER

### *La construction des parcs éoliens en mer*

Après une phase de conception et de construction des flotteurs et sections des éoliennes, l'assemblage du mât, de la nacelle et des pales sur un flotteur sera réalisé à terre. Les éoliennes flottantes seront ensuite remorquées sur la zone d'implantation.

Les grandes phases de l'installation en mer des parcs 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 des parcs et de leur 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.

### *L'exploitation et la maintenance des parcs éoliens 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.

La maintenance assurée depuis une base portuaire, située préférentiellement à proximité immédiate du parc, doit être accessible 24 h/24 et 7 j/7 en cas d'urgence, hors conditions météorologiques trop dures.

La liaison entre le port et les éoliennes se fait par des navires spécialisés (navire de transport de personnel) disposant d'une étrave (pièce saillante qui forme la proue d'un navire) adaptée ou des systèmes de passerelles permettant un transfert sécurisé des techniciens du navire vers le flotteur. 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.