

## L'éolien offshore

Alors que l'éolien terrestre est une industrie mondiale en forte expansion, le marché de l'éolien offshore est en phase de consolidation et de globalisation. La plus mature des énergies marines renouvelables continue son développement et ne peut plus être considérée comme une industrie de niche. Cette fiche fait le bilan du marché sur les dernières années, de son potentiel et de son positionnement actuel dans le classement des coûts de production de l'électricité.

En 1991, le premier parc éolien offshore fut créé au large des côtes danoises, à Videnby, par 5 m de profondeur. Onze turbines de 450 kW y furent installées. Il s'agissait alors de modèles directement transposés de l'éolien onshore.

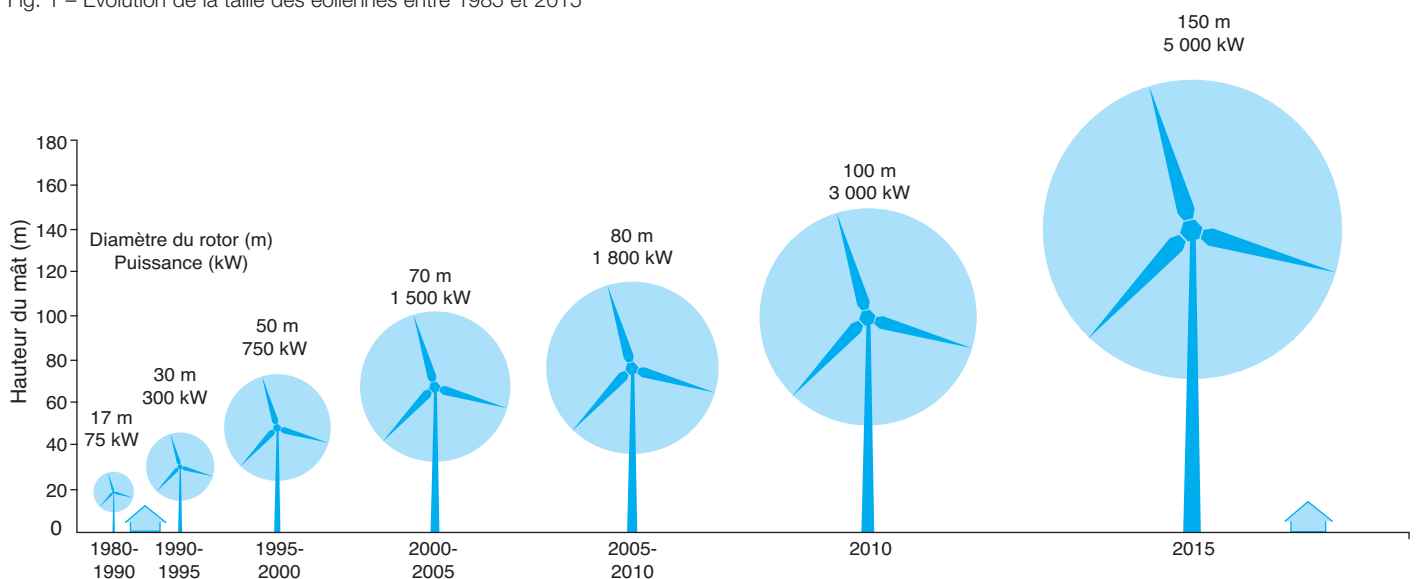
En 2015, le gouvernement britannique a donné son accord pour la construction de la plus grande ferme éolienne offshore au monde à Dogger Bank : une capacité totale de 1,2 GW, répartie sur quatre sites totalisant 200 turbines — d'une puissance unitaire de 6 MW —, installées entre 18 et 63 m de fond. Une seule de ces turbines produira plus que la ferme de Vindeby.

L'évolution de la taille des éoliennes, à elle seule, montre à quel point cette industrie change d'échelle et cherche à maximiser son potentiel (fig. 1).

### Un marché éolien offshore qui a le vent en poupe...

Le marché de l'éolien offshore résiste aux rafales de la crise financière. S'il s'est stabilisé aux alentours de 1 000 MW raccordés par an entre 2010 et 2012, 2013 avait vu un doublement des installations de nouvelles turbines. Après une période de consolidation en 2014 à

Fig. 1 – Évolution de la taille des éoliennes entre 1985 et 2015

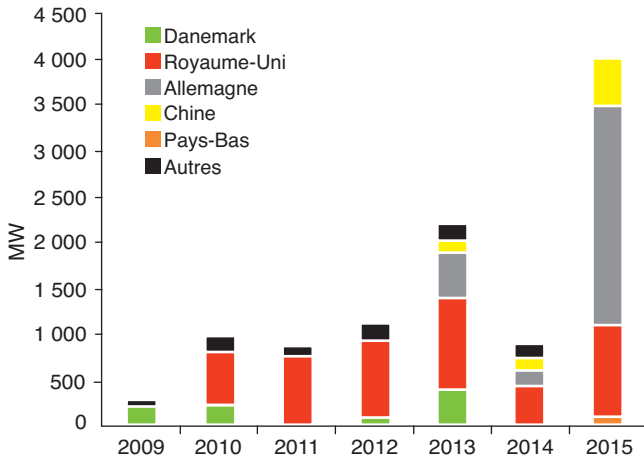


Source : European Wind Energy Association

## L'éolien offshore

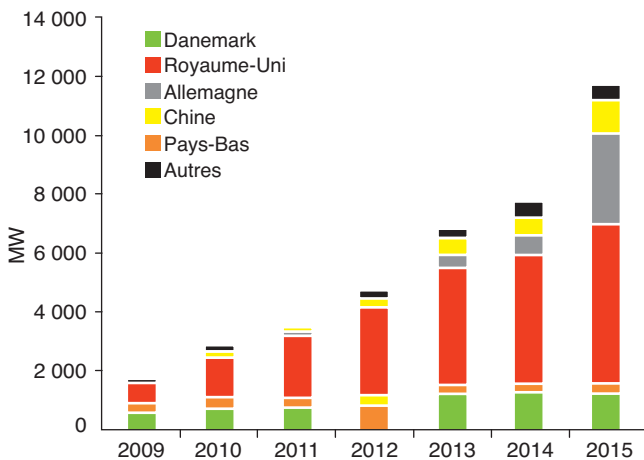
un niveau se situant dans la moyenne, l'année 2015 s'annonce historique, avec plus de 4 000 MW de nouvelles fermes installées (fig. 2 et 3).

Fig. 2 – Nouvelles installations entre 2009 et fin 2015



Source : European Wind Energy Association

Fig. 3 – Capacités cumulées installées par pays (2009 à 2015)



Source : European Wind Energy Association

Ce record est le résultat de nouveaux projets en Allemagne (2 400 MW) et en Chine (500 MW), le Royaume-Uni poursuivant à son rythme de croisière de 100 MW/an.

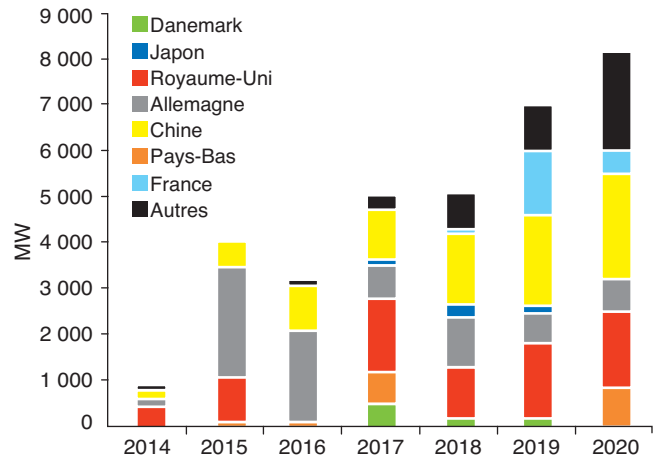
À ce rythme, la capacité mondiale devrait croître de manière exponentielle et dépasser, à la fin de l'année 2015, les 12 000 MW dont la majorité est installée en Europe, berceau historique de l'éolien offshore. Si le Royaume-Uni possède toujours le plus grand parc éolien offshore avec 5 400 MW, la surprise vient de l'Allemagne, qui prend la deuxième place au Danemark, et de la Chine, qui devient réellement une nation majeure de l'éolien offshore.

Tout cela traduit une nouvelle dynamique et l'apparition de nouveaux pôles d'activité en dehors du duo historique — Royaume-Uni et Danemark — qui tirait habituellement le marché.

### ...et pour longtemps !

Même si une temporisation du marché est prévue en 2016, de belles perspectives de croissance sont attendues sur le marché mondial de l'éolien offshore. Les installations nouvelles devraient dépasser 5 000 MW/an dès 2017, et atteindre 8 000 MW/an en 2020 (fig. 4). À cette date, l'éolien offshore devrait représenter un parc total de 40 000 MW.

Fig. 4 – Installations annuelles prévisionnelles par pays (2014-2020)



Source : Bloomberg News Energy Finance

Sur les cinq prochaines années, le Royaume-Uni sera durablement accompagné de la Chine et de l'Allemagne dans le rôle de locomotives de ce secteur. Ces trois pays représenteront plus de 60% des installations de 2015 à 2020, avec une montée en puissance de la Chine dont le rythme d'installation dépassera les 2 500 MW/an en 2020, conformément au plan de la *National Energy Administration* (NEA) qui prévoit, en 2020, une capacité de l'éolien offshore de 10 500 MW.

En Allemagne, le programme national de transition énergétique, publié en 2011, positionnait l'éolien offshore comme un de ses piliers sans pour autant fixer d'objectifs quantitatifs. Ce n'est plus le cas aujourd'hui : 7 700 MW sont prévus en 2020 (au lieu d'une cible initiale de 6 500 MW) puis 15 000 MW en 2030, afin de prendre, en partie, le relais du nucléaire.

En ce qui concerne la France, les premières fermes offshore issues du premier appel d'offres éolien offshore, lancé en juillet 2011, devraient commencer à être opérationnelles à partir de 2018. L'heure est actuellement à la construction de la filière industrielle nationale : des usines

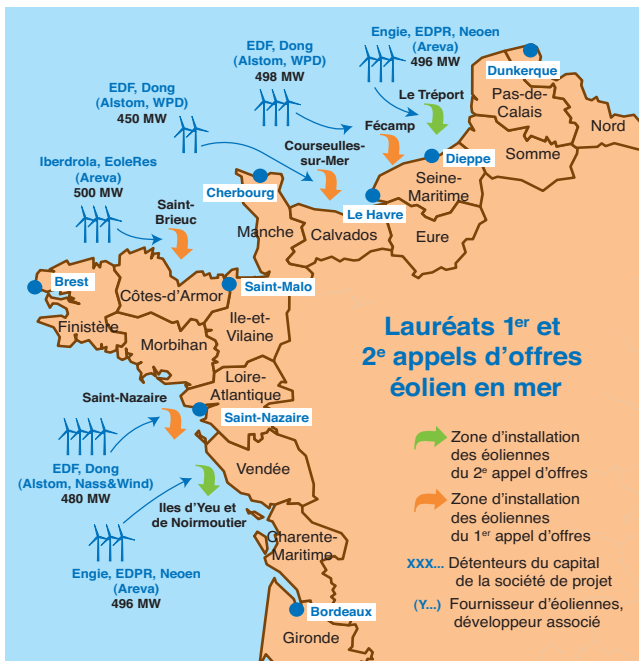
## L'éolien offshore

de construction et d'assemblage de composants ont vu le jour en 2015 à Montoir-de-Bretagne et Saint-Nazaire.

Pour mémoire, lors du premier appel d'offres, quatre sites ont été sélectionnés (dont trois attribués au consortium rassemblant, entre autres, EDF et DONG/Alstom), pour une puissance totale de 1 928 MW (fig. 5), en vue d'un futur déploiement de fermes éoliennes offshore et de leur exploitation par des sociétés *ad hoc* :

- à Courseulles-sur-Mer (450 MW), la société Éoliennes Offshore du Calvados est détenue à 85 % par Éolien Maritime France (EMF) (60 % EDF Énergies nouvelles et 40 % DONG Energy) et à 15 % par WPD Offshore (développeur de 2 500 MW éoliens dans le monde) ;
- à Fécamp (498 MW), la société Éoliennes Offshore des Hautes Falaises est détenue à 70 % par EMF à 30 % par WPD Offshore ;
- à Saint-Nazaire (480 MW), le projet sera exploité à 100 % par EMF ;
- le site de Saint-Briec (500 MW) a été attribué à Iberdrola et Areva (Ailes Marines SAS).

Fig. 5 – Résultats des appels d'offres éolien offshore en France



Source : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Lors du second appel d'offres de 2013, le consortium mené par Engie, regroupant l'énergéticien portugais EDP, Neoen Marine et Areva, a remporté les champs éoliens offshore du Tréport (496 MW) et de Yeu-Noirmoutier (496 MW).

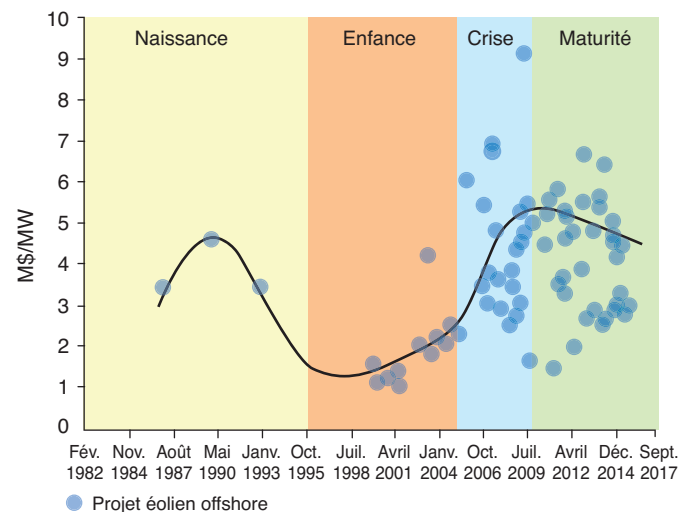
En 2015, un appel à projets spécifique pour l'éolien flottant a été ouvert. Il porte sur des fermes pilotes de trois à six éoliennes à l'échelle 1 pour une puissance

unitaire de 5 MW minimum, sur quatre zones définies en Méditerranée et en Atlantique. Les industriels ont jusqu'au 4 avril 2016 pour répondre.

### Cap sur les réductions de coûts

Depuis ses débuts en 1991, l'éolien offshore a vu ses coûts fortement fluctuer (fig. 6). Les premiers projets étaient bien évidemment chers car il s'agissait de pilotes. La fin des années 90 a vu l'apparition des premiers projets de type industriel avec une baisse sensible des coûts, autour de 2 millions de dollars par MW.

Fig. 6 – Évolution de l'investissement par projet (Capex) entre 1987 et 2015 (année de financement)



Source : Bloomberg News Energy Finance

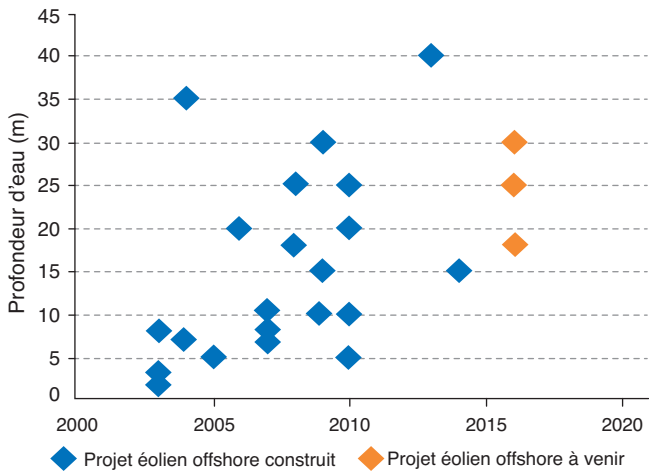
Durant la décennie de 2000 à 2010, les coûts sont repartis à la hausse avec la complexité croissante des projets. On installait alors des fermes de plus en plus loin des côtes, augmentant le coût du raccordement au réseau, et dans des profondeurs d'eau croissantes (fig. 7), augmentant également le coût des fondations des turbines. À cela s'est ajoutée la tension progressive sur les coûts des matières premières et de certains équipements, entre 2006 et 2009, et ce jusqu'à la crise financière.

Depuis, l'éolien offshore est entré dans un nouveau cycle de maturité. Si les projets deviennent toujours plus complexes, les technologies et les modes d'installation sont maintenant maîtrisés, ce qui permet à nouveau de faire diminuer les coûts d'investissement.

Si la diminution du coût du capital investi contribue à renforcer la compétitivité des éoliennes offshore, le véritable objectif est de réduire le coût actualisé de production (LCOE pour *levelized cost of electricity*), intégrant à la fois les dépenses opérationnelles et le coût d'investissement.

## L'éolien offshore

Fig. 7 – Profondeur d'eau des fermes éoliennes, par année d'installation



Source : IFPEN

À l'heure actuelle, les coûts de production se situent entre 132 €/MWh pour le projet le plus bas au Danemark et 190 €/MWh pour les sites en France, par exemple (fig. 8). Cette différence s'explique par la variabilité des coûts d'investissement et des coûts opératoires, mais également par un facteur de charge (la part de l'année pendant laquelle l'éolienne produit de l'électricité) fluctuant.

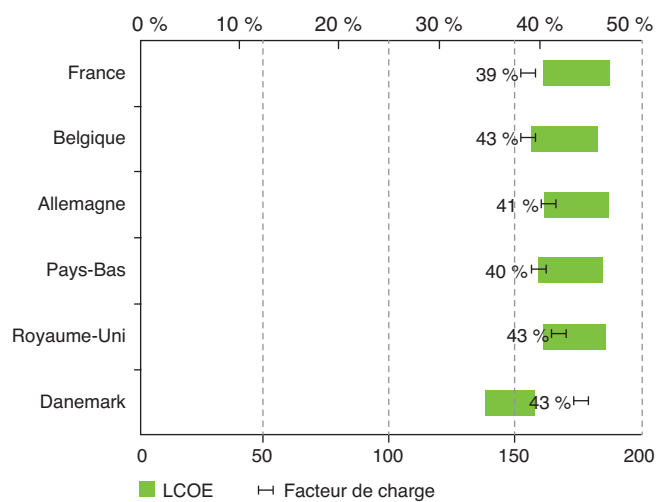
Ce facteur, qui se situe à 40% et plus, contre 25 à 30% en onshore, est un des paramètres expliquant la préférence des industriels pour l'éolien offshore. Or, ce facteur de charge est primordial pour l'insertion sur le réseau et la rentabilité des projets et donc, au final, de la filière.

Tout l'enjeu pour les industriels est de réduire encore les coûts d'investissement et les coûts de maintenance tout en maximisant leur facteur de charge. L'objectif est de ramener les coûts de production de l'éolien offshore au niveau de ceux des autres filières renouvelables de production d'électricité (fig. 9).

L'éolien offshore se porte bien. Son marché est dynamique et présente une bonne croissance. De nouvelles locomotives comme la Chine et l'Allemagne ont fait leur apparition pour prendre le relais du Danemark et du Royaume-Uni. De son côté, la France prépare les bases de son avenir et entrera sur le marché en 2018.

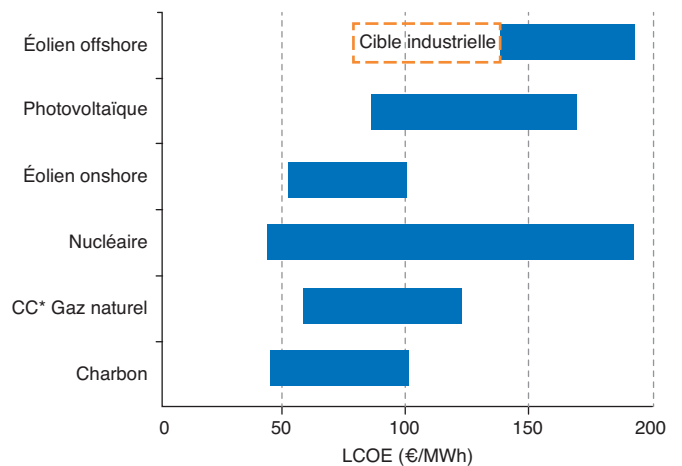
Malgré tout, les coûts de l'éolien offshore ont subi des fluctuations, essentiellement à la hausse, jusqu'à ce jour. Le défi actuel, pour les industriels, est de continuer à conquérir de nouveaux espaces tout en poursuivant la

Fig. 8 – LCOE typiques dans des pays européens et facteurs de charge



Source : Bloomberg News Energy Finance

Fig. 9 – Comparaison des LCOE des différentes filières de production d'électricité



\*Cycle combiné

Source : IFPEN

réduction des coûts de production de l'électricité. Ceci est bien engagé puisque le projet Horns Rev 3 (ferme éolienne offshore danoise) a été attribué dernièrement à 106 €/MWh et que les industriels souhaitent passer en dessous de 100 €/MWh dès 2020, afin de faire définitivement de l'éolien offshore une des filières industrielles les plus compétitives pour la transition énergétique.

Simon Vinot – [simon.vinot@ifpen.fr](mailto:simon.vinot@ifpen.fr)  
Manuscrit remis en novembre 2015