

Quel est l'état d'avancement des énergies renouvelables en mer en France ? Quelles sont les alternatives à l'éolien flottant ?

Les principaux points abordés

Le développement des énergies renouvelables en mer est au cœur de la stratégie énergétique de la France visant à diversifier sa production électrique, réduire sa dépendance énergétique et lutter contre le changement climatique. Plusieurs technologies de production d'énergie renouvelable en mer existent :

- l'énergie éolienne en mer (technologie posée ou flottante), qui utilise le vent ;
- l'énergie hydrolienne, qui utilise les courants marins ;
- l'énergie houlomotrice, qui utilise la houle (vagues) ;
- l'énergie thermique des mers, qui utilise les différences de température entre les eaux de surface et les eaux profondes ;
- l'énergie marémotrice, qui utilise les marées.

Ces technologies sont à des stades de développement divers, l'éolien en mer posé étant le plus avancé. Cette fiche dresse l'état des lieux du développement des énergies marines renouvelables en France et dans le monde.

1. L'éolien en mer

L'énergie éolienne transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Une éolienne en mer, posée sur le fond de la mer ou installée sur un flotteur ancré au fond de la mer, bénéficie de vents plus fréquents, plus forts et plus réguliers qu'une éolienne à terre. La France dispose d'un fort potentiel pour le développement de l'éolien en mer, compte tenu des atouts naturels de son territoire, elle bénéficie en effet du deuxième gisement de vent pour l'éolien en mer en Europe après la Grande-Bretagne.

Les éoliennes en mer peuvent être posées sur le fond ou flottantes :

- les éoliennes en mer posées sont des éoliennes qui reposent sur une fondation, elle-même fixée au plateau continental. Ce type de technologie est particulièrement adapté dans les zones où la profondeur est faible, généralement moins de 40 mètres ;
- les éoliennes en mer flottantes reposent sur des flotteurs. Ces derniers peuvent être reliés au fond par de simples lignes d'ancrage. Ce type de technologie est particulièrement adapté dans les zones où la profondeur est importante et actuellement jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 350 mètres.

À ce jour, le potentiel de développement de l'éolien en mer est concentré majoritairement au large des côtes de Normandie, de Bretagne et des Pays de la Loire pour l'éolien posé, et au large des côtes de Bretagne, des Pays de la Loire et du golfe du Lion pour l'éolien flottant.

2. L'éolien posé

En France il n'y a pas encore de parc de production installé, mais de nombreux parcs sont en projet à différents stades de développement.

Depuis 10 ans, la France a appuyé son développement en lançant trois procédures de mise en concurrence pour des parcs éoliens en mer posés en 2011, 2013 et 2016, totalisant 3,6 GW répartis dans sept projets en Manche et en Atlantique. Ils sont situés au large de Dunkerque, Dieppe-Le Tréport, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Saint-Brieuc, Saint-Nazaire et Yeu-Noirmoutier.

En outre, un débat public est en cours depuis le 15 novembre 2019¹ sur des projets éoliens en mer posés au large de la Normandie, dont un projet d'1 GW. La procédure de mise en concurrence doit être lancée en 2020.

a. Sept parcs en cours de développement en France

L'éolien en mer s'est développé en France en trois grandes phases, relatives aux orientations programmatiques en vigueur : la première avec la programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité de 2009, la deuxième, avec la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) couvrant la période de 2016 à 2023 et la troisième dans le cadre de la PPE 2019-2028.

Première phase

Dans le cadre du plan de développement des énergies renouvelables en France défini en 2009, la programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité, arrêtée la même année, avait fixé un objectif pour les énergies marines de 1 GW au 31 décembre 2012 et 6 GW au 31 décembre 2020. Pour contribuer à l'atteinte de cet objectif, deux procédures de mise en concurrence ont ainsi été lancées par l'État, en 2011 puis en 2013.

1 Le débat était initialement prévu du 15 novembre 2019 au 15 mai 2020. En raison de l'épidémie de Covid-19 le débat a été suspendu en vertu de l'article 7 de l'ordonnance n° 2020-306 du 25 mars 2020.

La première procédure de mise en concurrence concernait quatre lots représentant 2 GW au total. Les lauréats désignés en 2012 sont, d'une part, des consortiums menés par EDF pour les projets de Courseulles-sur-Mer, Fécamp et Saint-Nazaire, et d'autre part, par Iberdrola, pour Saint-Brieuc. Le quatrième lot, objet de la procédure de mise en concurrence (Dieppe-Le Tréport), a été jugé infructueux en raison des tarifs trop élevés proposés dans les offres.

La seconde procédure de mise en concurrence concernait deux lots, Yeu-Noirmoutier et Dieppe-Le Tréport, pour une capacité totale de 1 GW. Le lauréat des deux lots est un consortium mené par Engie, désigné en 2014.

Compte tenu de la baisse des coûts de l'éolien partout en Europe, le Gouvernement a engagé en 2018 une renégociation des tarifs des projets attribués, permettant de réduire leur coût pour la collectivité, tout en confortant la filière de l'éolien en mer.

Ces procédures de mise en concurrence se traduiront par la mise en service des parcs éoliens pour 3 GW entre 2021 et 2023. Les raccordements de ces six projets (hors poste électrique en mer) seront réalisés et financés par RTE.

Deuxième phase

La PPE 2016-2023, publiée par le décret du 27 octobre 2016, prévoit entre 500 MW et 6 GW d'éolien en mer posé attribués.

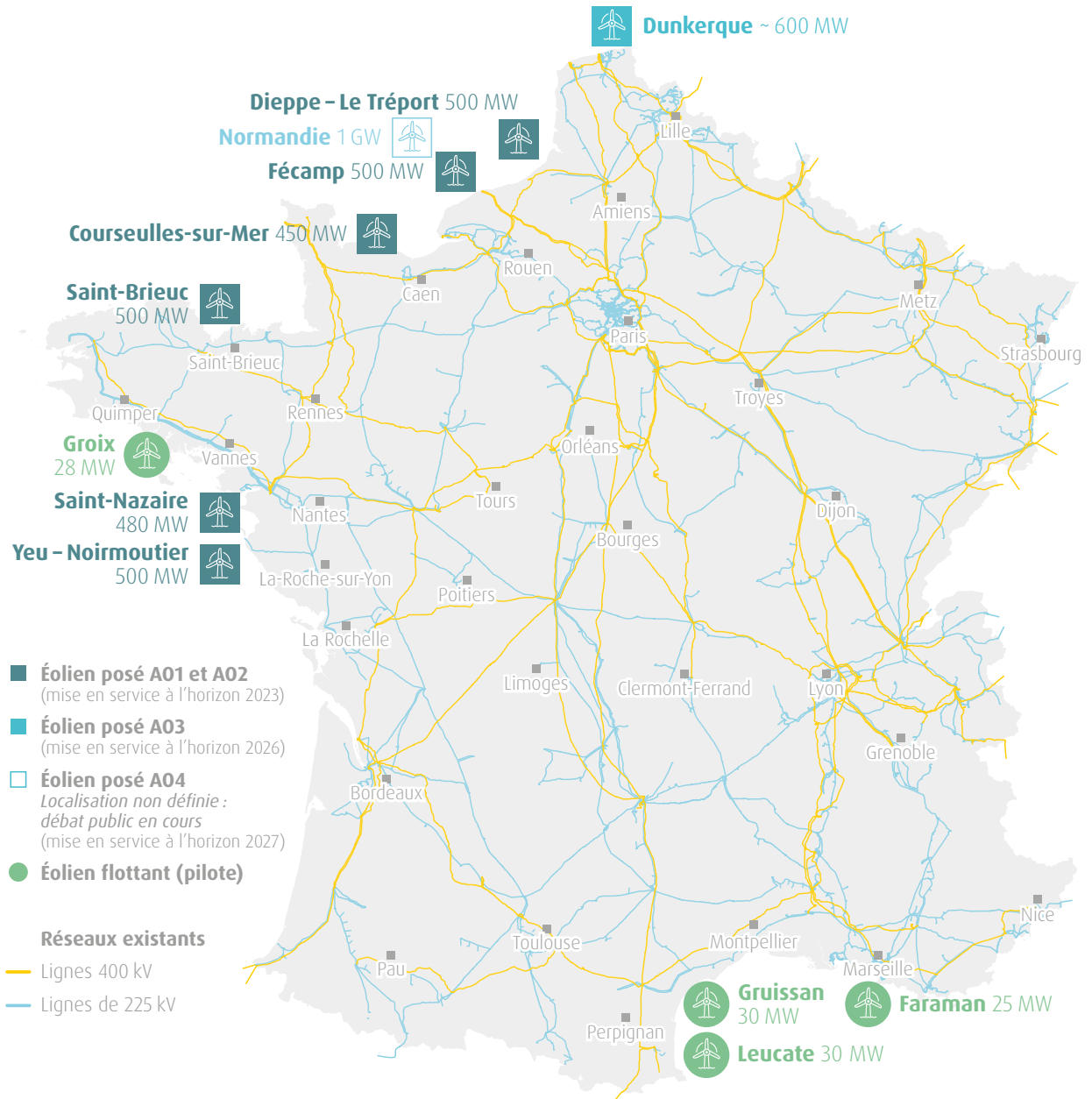
Une troisième procédure de mise en concurrence a donc été lancée par l'État en 2016 pour un projet allant jusqu'à 600 MW au large de Dunkerque. La définition de la zone de projet a fait l'objet d'une consultation des acteurs locaux et du public en 2016 sous l'égide du préfet coordonnateur de façade et du préfet maritime, lors de laquelle plusieurs réunions thématiques ont été organisées et plusieurs contributions écrites reçues. La zone de projet a ensuite été affinée au cours du dialogue concurrentiel. Les offres des candidats présélectionnés ont été remises à la Commission de régulation de l'énergie (CRE) le 15 mars 2019. Le consortium composé des sociétés EDF Renouvelables, Innogy et Enbridge, a été désigné lauréat par le ministre d'État, ministre de la Transition écologique et solidaire, le 14 juin 2019, après avis de la Commission de régulation de l'énergie.

Le raccordement de ce projet, y compris le poste en mer, est réalisé et financé par RTE.

Troisième phase

L'actuelle phase de développement des projets éoliens en mer s'inscrit dans le cadre de la révision de la programmation pluriannuelle de l'énergie pour la période 2019-2028 et de la planification établie par les documents stratégiques de façade. La démarche présentée en débat public entre dans le cadre de cette troisième phase.

L'emplacement des projets éoliens en mer issus des précédents appels d'offres en France



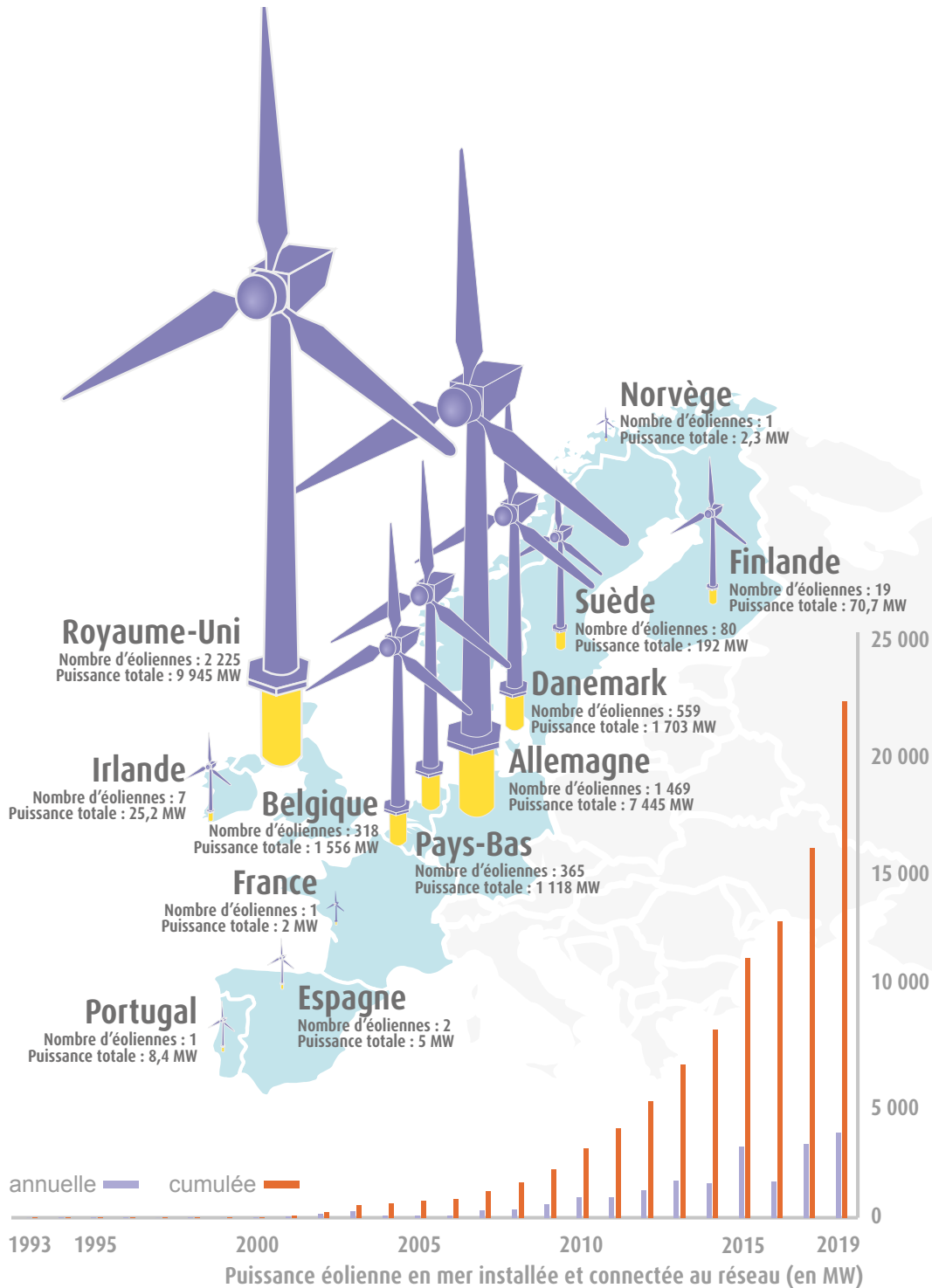
b. En Europe

L'éolien posé en mer s'est développé de manière plus rapide chez nos voisins européens. L'Allemagne, la Belgique, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et le Danemark sont les plus gros producteurs d'électricité éolienne en mer. Les premiers parcs en Europe ont été inaugurés dès le début des années 1990.

En Europe en 2019, 502 nouvelles turbines en mer ont été raccordées au réseau via 18 projets pour environ 3,6 GW de puissance installée supplémentaire.

Au total, l'Europe dispose de 22 GW de puissance installée dans 12 pays.

Puissance installée des éoliennes en mer dans les principaux pays européens producteurs (fin 2019)



Source : WindEurope.

c. Dans le monde

La Chine progresse dans l'éolien en mer et figure désormais parmi les leaders du marché. En 2018, la Chine a raccordé 1,6 GW de capacité éolienne en mer, soit la plus grande progression mondiale.

L'Inde, la Corée et Taiwan ont également des objectifs ambitieux, tandis que d'autres pays, dont le Japon et le Canada, jettent les bases d'un futur développement éolien en mer².

3. L'éolien flottant

La filière éolienne flottante est aujourd'hui au stade de développement pré commercial. En s'affranchissant des limites de profondeurs liées aux fondations nécessaires dans la technologie posée, l'éolien flottant facilite l'installation et la maintenance des équipements. Cette technologie élargit les potentiels de gisements. La France détiendrait le second gisement européen dont une part conséquente au large des côtes bretonnes (46,1 GW en éolien flottant dont 27 % en Bretagne et 20,1 GW en posé dont 23 % en Bretagne)³, après le Royaume-Uni (48 GW).

a. En France

La filière a bénéficié d'un appel à projets du programme d'investissements d'avenir géré par l'ADEME pour le déploiement de fermes pilotes, lancé en août 2015, dont l'objectif est de tester plusieurs technologies de flotteurs. Dans ce cadre, quatre projets, chacun d'une puissance de 24 MW à 30 MW, ont été désignés lauréats en 2016 :

- le projet « Provence Grand Large » porté par EDF Renouvelables, avec trois turbines Siemens-Gamesa de 8 MW et des flotteurs SBM, sur la zone de Faraman en Méditerranée ;
- le projet « Les éoliennes flottantes golfe du Lion » porté par Engie/EDPR/CDC, avec trois turbines General Electric de 10 MW et des flotteurs Eiffage/PPI, sur la zone de Leucate en Méditerranée ;
- le projet « EolMed » porté par Quadran à Gruissan en Méditerranée qui se compose de trois éoliennes MHI Vestas de 8 MW et de flotteurs Bouygues Travaux Publics et Ideol ;
- le projet « Éoliennes flottantes de Groix et Belle-île » (EFGBI) porté par EOLFI/CGN au large des îles de Groix et Belle-île en Bretagne qui se compose de trois éoliennes MHI Vestas de 9,5 MW et de flotteurs de conception DCNS.

Les quatre projets de fermes pilotes sont soutenus au total à hauteur d'environ 300 M€ d'aide à l'investissement par le Programme des investissements d'avenir. La production d'électricité bénéficie d'un tarif d'achat à 240 €/MWh sur 20 ans.

Ce 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.

Le projet d'éoliennes flottantes au sud de la Bretagne sera le premier projet commercial français.

Les projets démonstrateurs d'Eolink et de Floatgen

Les éoliennes en mer d'Eolink et de Floatgen ont été les premières éoliennes flottantes installées sur les côtes françaises à exporter de l'électricité vers le réseau de transport d'électricité. Installées au large de Sainte-Anne-du-Portzic dans le Finistère pour Eolink, et au large du Croisic en Loire-Atlantique pour Floatgen, elles sont entrées en production en 2018.

- Le projet Floatgen a débuté en 2013 et a réuni sept partenaires européens : Ideol a conçu le système flottant (la fondation, le système d'ancrage et la configuration du câble de transport d'électricité) et a fourni l'éolienne de 2 MW ; l'École Centrale de Nantes (SEM REV) a fourni le système d'ancrage et a mis à disposition son site d'essais en mer ; Bouygues Travaux Publics a construit la fondation flottante. Ce projet a été soutenu par l'Union européenne (UE) dans le cadre du septième programme-cadre européen de recherche et de développement (FP7), par l'ADEME dans le cadre du Programme des investissements d'avenir et par la Région Pays de la Loire.
- Lancé en 2017, le projet d'Eolink a permis de tester une éolienne flottante de 12 MW à l'échelle 1/10^e, dans le cadre d'un partenariat avec l'Ifremer. Eolink a conçu et mis au point l'ensemble du système : turbine, flotteur, ancrages et contrôle-commande. L'Ifremer a mis à disposition son site d'essais en mer et a procédé à l'installation des parties sous-marines (ancrage et câble d'export). L'éolienne a été connectée au réseau en avril 2018. Ce projet a été soutenu par la Région Bretagne.⁴

b. À l'étranger

En Écosse

Hywind (Statoil), démonstrateur et ferme pilote de 30 MW

À la suite d'une démonstration satisfaisante sur les côtes norvégiennes, le premier parc d'éoliennes flottantes au monde a été inauguré en octobre 2017 à 30 km au large de Peterhead en Écosse.

Le projet Hywind, de 30 MW, est porté par les sociétés Statoil et Masdar. Il comprend cinq turbines de 6 MW, 253 mètres de haut, ancrées par des câbles à 78 mètres sous la mer.

Le porteur de projet travaille également sur un projet de stockage de l'énergie avec des batteries au lithium, Batwind.



² <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf>

³ <https://bretagne.ademe.fr/retours-dexperience/energies-renouvelables-et-reseaux-de-stockage/eolien/eolien-en-mer-ou-offshore>

⁴ Pour en savoir plus : www.ifremer.fr

Kincardine (Écosse, 4C Offshore) : ferme pilote de 50 MW

En mars 2017, le Gouvernement écossais a donné son accord pour le parc éolien flottant de Kincardine composé de huit turbines de 6 MW. Kincardine est situé à environ 15 km au sud-est d'Aberdeen.

Le parc éolien de Kincardine a une capacité de production autorisée de 50 MW et comprendra huit générateurs d'éoliennes à axe horizontal à trois pales. Les profondeurs d'eau du site se situent entre 45 et 143 m.

Au Portugal

WindFloat (EDP-R, Engie, PP), démonstrateur et ferme pilote de 25 MW

Après cinq années de tests, le démonstrateur d'éolienne flottante Windfloat, installé au large du Portugal, est passé au stade de ferme pilote. La première plateforme WindFloat Atlantic équipée d'une turbine a quitté le port de Ferrol pour rejoindre sa destination finale, à 20 km des côtes de Viana do Castelo, au Portugal le 21 octobre 2019. L'installation comprendra trois structures flottantes de 30 mètres dont les colonnes sont distantes de 50 mètres les unes des autres.

Au Japon

Fukushima (Marubeni), démonstrateurs 2 MW, 7 MW, appels d'offres pour fermes commerciales

Le Japon est un pays à fort potentiel pour le développement de l'éolien flottant compte tenu de la profondeur de ses côtes et du gisement éolien.

Plusieurs démonstrateurs d'éolien flottant sont déjà installés au Japon, notamment dans le cadre du consortium Fukushima Forward. En 2015, la société française Ideol a annoncé avoir signé un contrat avec le groupe Hitachi Zosen portant sur deux démonstrateurs. En 2016, la société a annoncé le lancement de la phase de construction du premier démonstrateur en acier.

Début 2018, le NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organisation) a annoncé le lancement de deux appels d'offres pour soutenir le développement de projets éoliens en mer flottants dans le pays.

4. L'état d'avancement des autres énergies marines renouvelables

Au-delà des filières éoliennes en mer, d'autres énergies renouvelables peuvent être installées en milieu marin. Elles sont cependant à des stades de développement encore peu avancés.

a. Hydrolien

Disposant des courants parmi les plus forts au monde, la France présente un potentiel technique hydrolien (avant prise en compte des contraintes d'autres usages ou environnementales) estimé à 3 GW environ en France métropolitaine, soit 30 % de la ressource européenne, situé au Raz Blanchard en Normandie et au passage du Fromveur en Bretagne. Plusieurs projets⁵ de démonstrateurs d'hydrolienne marine ont été immergés et connectés au réseau électrique avec succès. Un appel à projets de l'ADEME pour des

fermes pilotes d'hydroliennes pré commerciales a également été lancé dans le Raz Blanchard, avec deux projets lauréats. Les zones propices à l'installation d'hydroliennes de grandes dimensions (bathymétrie adaptée et forts courants) sont cependant rares. Le potentiel technique limité à l'échelle de la planète et les coûts relativement élevés font de l'hydrolien une technologie de niche.

b. Houlomoteur

Concernant l'énergie houlomotrice, l'ADEME évalue la capacité théorique du littoral français à 400 TWh avec l'objectif d'exploiter 10 % de ce potentiel, principalement sur la façade atlantique. Cette technologie n'est cependant qu'au stade de la recherche et du développement. Actuellement, le site d'essais en mer de l'École centrale de Nantes (SEM REV du Croisic) est le seul site accueillant une expérimentation de cette technologie.

c. L'énergie thermique des mers

Pour la production d'électricité, cette technologie a un potentiel dans les zones tropicales, mais pas en France métropolitaine. Plusieurs entreprises ligériennes (et notamment Naval Énergies à Indret) travaillent sur ce sujet et se positionnent sur des chantiers à l'étranger. Plusieurs démonstrateurs ont été financés dans les outre-mer, mais cette technologie n'est pas adaptée aux caractéristiques de la façade Nord Atlantique-Manche Ouest : les différences de température entre la surface et le fond, et la profondeur de la mer, ne sont pas assez importantes pour produire de l'électricité, mais peuvent être intéressantes pour produire de la chaleur ou du froid (avec par exemple un projet de géothermie marine à Marseille⁶).

d. Autres

L'énergie osmotique (exploitation des différences de salinité), la biomasse marine et l'énergie marémotrice sont également des énergies renouvelables, mais encore en cours de développement.

L'usine marémotrice de la Rance de 240 MW est déjà en service, mais utilise l'énergie du barrage sur la rivière plus que l'énergie de la marée.

La poursuite du développement des énergies renouvelables en mer nécessite une politique industrielle engagée, volontariste et incitative. À ce titre, la France dispose de nombreux acteurs, laboratoires et organismes scientifiques et industriels qui possèdent les compétences et l'expertise pour créer une filière industrielle française compétitive pour gagner de nouveaux marchés en Europe et dans le monde. Le développement des énergies renouvelables en mer se poursuit dans le cadre d'une gestion intégrée de l'environnement en concertation avec les différents acteurs et en cohérence avec les autres énergies renouvelables.

Si de nombreux projets de recherche et développement permettront d'identifier les potentiels énergétiques et économiques des technologies d'énergies renouvelables en mer, elles ne constituent pas des alternatives à l'éolien en mer, posé ou flottant, pour les prochaines années.

5 Hydrolienne Sabella de 1 MW immergée à Ouessant en octobre 2018, hydrolienne Guinard Énergies de 250 kW immergée à Étrel en février 2019, hydrolienne OceanQuest de 1 MW immergée à Paimpol-Bréhat en avril 2019.

6 Pour en savoir plus, détail du projet Thassalia sur le site du porteur de projet : <https://www.engie.com/activites/electricite/geothermie-marine/>



La filière éolienne maritime en France

« Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire » – 2019

Total des emplois directs et indirects : 15 060

Conception et développement : **400 emplois**

Construction : **13 820 emplois**

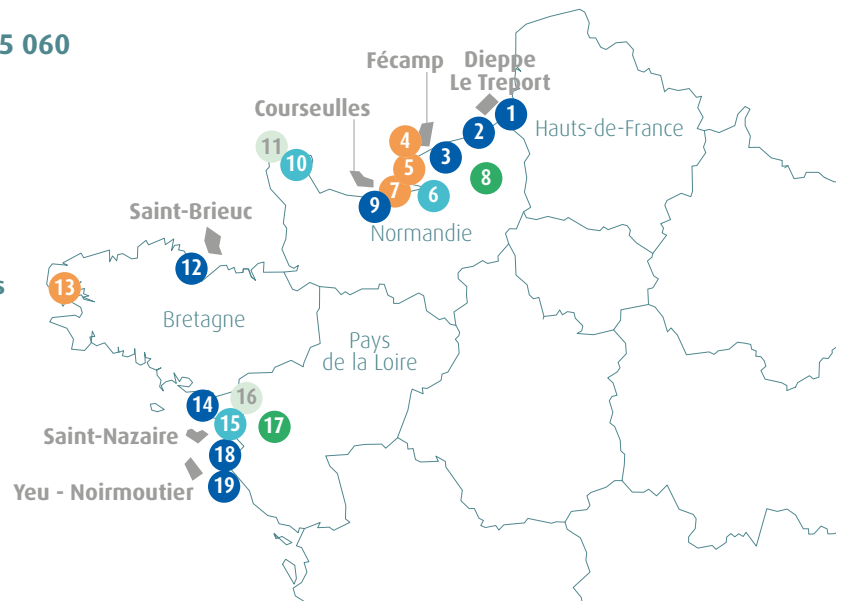
Construction des éoliennes : **6 770 emplois**

Construction des autres composants (câbles inter-éoliennes, fondations, sous-stations, raccordements, travaux) : **7 050 emplois**

Exploitation et maintenance (25 ans) : **840 emplois**

Ces chiffres concernent l'ensemble de la France pour l'éolien en mer posé. Les chiffres de la carte se focalisent sur les régions dans lesquelles les appels d'offres ont été attribués. Les sous-traitants ne sont pas indiqués.

- Usine existante
- Usine en construction
- Usine en projet
- Centre d'ingénierie existant
- Plateforme logistique
- Centre de maintenance



1 2 Dieppe - Le Tréport
Maintenance
125 emplois directs

3 Fécamp
Maintenance
100 emplois directs

4 5 6 Le Havre
• Construction et assemblage d'éoliennes
• Deux usines et une plateforme logistique en projet par Siemens-Gamesa (pales, nacelles et logistique)
• Mise en service en 2021
750 emplois directs
1 500 emplois indirects

7 Le Havre
• Construction de fondations
• Usine en projet
600 emplois directs

8 Rouen
• Centre d'ingénierie
• Centre d'ingénierie et R&D créé en 2013 par Siemens-Gamesa

9 Ouistreham
Maintenance
100 emplois directs

10 Cherbourg
• Plateforme logistique
• En création par GE Renewable Energy
80 emplois directs

11 Cherbourg
• Production de pales
• Usine en construction par LM Wind Power
• Mise en service en 2018
600 emplois directs
2 000 emplois indirects

12 Saint-Quay-Portrieux
Maintenance
Plus de 100 emplois directs

13 Brest
Construction de fondations
500 emplois directs

14 La Turballe
Maintenance
100 emplois directs

15 Saint-Nazaire
• Plateforme logistique
• En création par GE Renewable Energy
80 emplois directs

16 Saint-Nazaire
• Production de nacelles
• Mise en service en 2014 par GE Renewable Energy
470 emplois directs
1 200 emplois indirects

17 Nantes
• Centre d'ingénierie
• Créé en 2013 par GE Renewable Energy (siège mondial Offshore)
300 emplois directs
600 emplois indirects

18 19 Yeu-Noirmoutier
Maintenance
125 emplois directs

Source : Syndicat des Énergies Renouvelables.

