

## ÉOLIEN FLOTTANT : ACCÉLÉRER LE DÉPLOIEMENT EN FRANCE POUR RESTER À LA POINTE



Installation de la ferme pilote WindFloat Atlantic au Portugal  
©EDPR WindFloat Atlantic

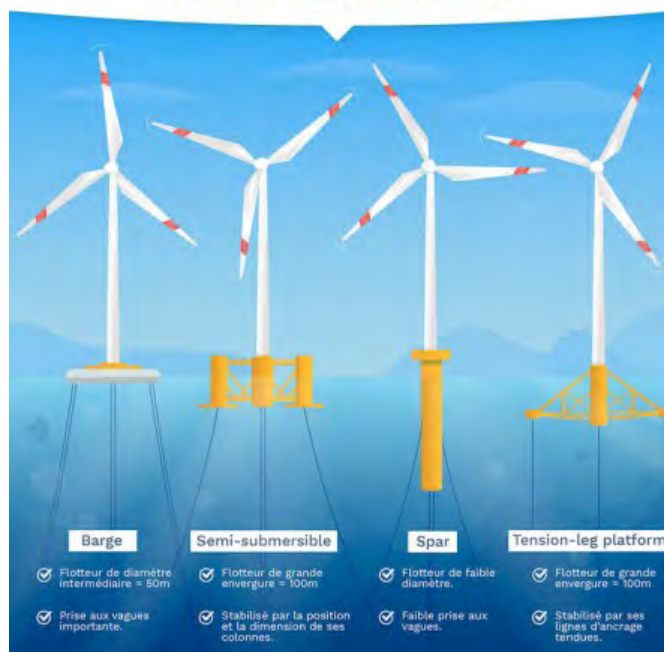
L'éolien en mer posé a d'ores et déjà prouvé sa compétitivité et sa capacité à fournir de l'électricité à grande échelle (le 1<sup>er</sup> parc commercial français sera d'ailleurs mis en service fin 2022 au large de Saint-Nazaire). **Complémentaire de cette technologie**, l'éolien flottant permettra de s'affranchir de certaines des contraintes techniques que rencontre l'éolien posé à partir d'environ 50 mètres de profondeur (valeur indicative variant selon les conditions) et **d'exploiter ainsi des zones plus au large présentant des vents plus forts et réguliers**. L'important potentiel que représente l'éolien flottant, et les premiers retours d'expérience positifs sont à l'origine d'un **véritable engouement autour du développement de nouveaux projets**. Avec un potentiel significatif sur 3 de ses façades, 4 fermes pilotes dont 3 en cours de réalisation, des appels d'offres pour 3 parcs commerciaux et des entreprises reconnues pour leurs compétences, **la France possède de nombreux atouts pour déve-**

**lopper l'éolien flottant qu'il apparaît indispensable d'exploiter** pour atteindre les objectifs nationaux de neutralité carbone d'ici 2050. À cet égard, dans son étude prospective « Futurs énergétiques 2050 », RTE estime que la part de l'éolien flottant pourrait varier de 35 à 70 % dans la part globale de l'éolien en mer dans le mix électrique. L'éolien flottant apporterait également de **nouvelles opportunités industrielles tout en participant au dynamisme de l'économie maritime française**. Considéré comme un pays leader il y a quelques années (notamment grâce à Floatgen, 1<sup>er</sup> démonstrateur d'éolien flottant installé au large du Croisic), le pays est concurrencé par ses voisins désormais plus ambitieux, notamment le Royaume-Uni. **Les spécificités techniques relatives à l'éolien flottant engendrent de nouveaux enjeux** en termes d'infrastructures, de moyens d'essais, de logistique, de technologies et d'industries qu'il faut anticiper dès à présent pour que la France maintienne son rôle de pionnier.

## QU'EST-CE QUE L'ÉOLIEN FLOTTANT ?

Une éolienne flottante est constituée d'une **éolienne adaptée pour une exploitation en mer installée sur un flotteur en béton et/ou en acier**. Ce flotteur est amarré au fond marin grâce à des lignes d'ancrage, ce qui permet à la structure de conserver une position suffisamment stable. Les flotteurs sont des structures qui mesurent plusieurs dizaines de mètres (jusqu'à 100 mètres pour certains) et leurs dimensions s'adaptent à l'éolienne qu'elles doivent accueillir. **4 familles de flotteurs se sont démarquées depuis plusieurs années et sont impliqués dans des projets de fermes pilotes ou de parc pré-commercial**. Ceux-ci sont présentés dans l'illustration ci-contre (et décrits plus en détails dans la précédente note de l'Observatoire relative à l'éolien flottant). Cette technologie connaît une **véritable émulation du point de vue de l'innovation** avec la concrétisation de concepts encore au stade de démonstrateurs. Pas moins de 4 prototypes ont ainsi été mis à l'eau en Europe depuis le dernier état des lieux dressé par l'Observatoire en 2020 (Nezzy2, Tetraspar, X1 Wind, DemoSATH) : ils présentent des nouveautés telles que la présence de 2 éoliennes sur un flotteur, une structure pyramidale en lieu et place d'un mât d'éolienne, avec ancrage en un seul point, un flotteur avec une quille suspendue ou

### Les différents flotteurs



Source : EDF Renewables

encore une fondation de type barge à double coque. À noter que la Chine a mis à l'eau 2 prototypes depuis 2021. Dans un futur proche, **une éolienne EOLINK de 5 MW sera testée en France sur le site du SEM-REV au large du Croisic**.

## UNE TECHNOLOGIE QUI A LE VENT EN POUPE À L'ÉCHELLE DU GLOBE

L'éolien flottant connaît un fort dynamisme dans le monde et particulièrement en Europe, comme en témoigne l'évolution de la capacité installée sur le Vieux Continent. En effet, on dénombre 163 MW installés à la mi-2022 (principalement fournis par le projet norvégien de Hywind Tampen) contre seulement 60 MW à la même période en 2020, soit quasiment une multiplication par 3. À ce jour, l'Europe compte **3 projets mis en service** (Hywind Scotland et Kincardine en Écosse ainsi que WindFloat Atlantic au Portugal) et **un autre projet est en cours d'installation avancée en Norvège** (Hywind Tampen, plus grand parc éolien flottant au monde – 88 MW).

**Les premiers retours d'expérience concernant les installations en place sont positifs et permettent d'envisager un déploiement à plus grande échelle de la technologie flottante.** Le taux de charge moyen du 1<sup>er</sup> parc installé est d'environ 54 % sur ces 3 premières

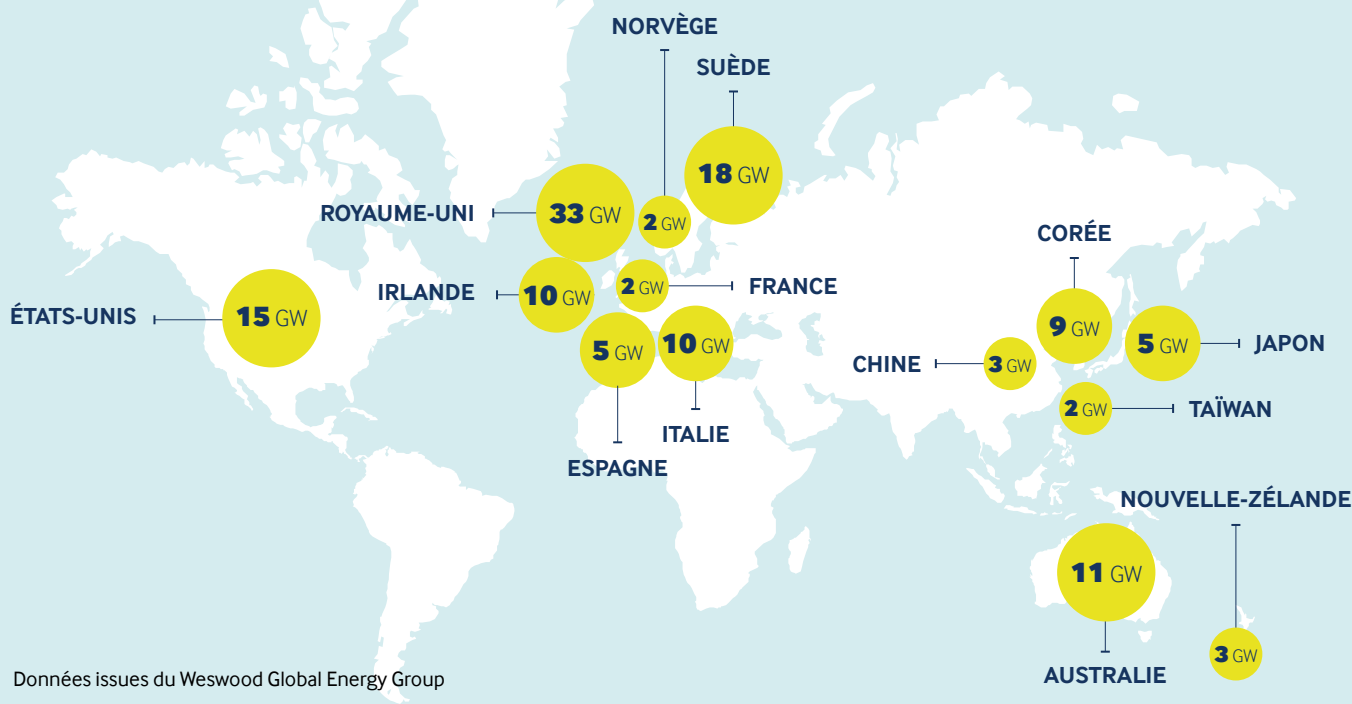
➔ **310 MW DEVRAIENT ÊTRE INSTALLÉS EN EUROPE À HORIZON 2024**

années de fonctionnement (contre 40 % en moyenne pour de l'éolien en mer posé qui ne bénéficie pas des conditions de vents plus forts et réguliers présentes plus au large) et l'absence d'impact fort de Floatgen (première éolienne flottante installée en France) sur l'environnement marin, relevé par une étude<sup>1</sup>, vont dans ce sens.

1. Premier rapport public de suivi environnemental de l'éolienne FLOATGEN – Centrale Nantes

## VOLUMES DE PROJETS

ANNONCÉS PAR LES PRINCIPAUX PAYS DÉVELOPPANT L'ÉOLIEN FLOTTANT



Preuve de l'engouement mondial pour la technologie, **121 GW de projets éoliens flottants ont été recensés en juin 2022 par le Westwood Global Energy Group** à l'échelle de la planète. **Deux tiers de ces projets annoncés à moyen terme sont localisés en Europe**, confirmant l'avance du continent en la matière. Le Royaume-Uni fait figure de futur champion européen, notamment grâce à l'Écosse qui a récemment attribué

des zones de concession représentant un potentiel de capacité de près de 17 GW dans le cadre de l'appel d'offres ScotWind. À horizon 2030, **l'étude envisage une capacité installée mondiale de 15 GW dont environ 9 GW en Europe**. Les pays qui sont bien positionnés sur le marché des éoliennes flottantes sont les États Unis, Taïwan, le UK, La France, l'Espagne, le Japon et la Corée du Sud.

## LA FRANCE DOIT SUIVRE LE RYTHME EN CAPITALISANT SUR SES FERMES PILOTES ET SES ENTREPRISES

La France compte actuellement 4 fermes pilotes, dont une en développement et **3 en cours de réalisation**, engageant les choix industriels (Provence Grand Large, EolMed, Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion pour un total de 85 MW mis en service à horizon 2023/2024). Conformément à ce qui figurait dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-2023, **2 premiers appels d'offres commerciaux pour l'éolien flottant ont été initiés à ce jour** et sont en cours de dialogue concurrentiel entre l'Etat, RTE et les candidats présélectionnés. Le premier, en 2021, pour un parc de 250 MW et son raccordement qui sera situé au Sud de la Bretagne. Le second, en 2022, concerne 2 parcs de 250 MW en Méditerranée. **Le calendrier de ces 3 projets prévoit une mise en service aux alentours des années**

**2030**. En cas d'atteinte des objectifs de baisse des coûts associés à cette technologie, il est prévu que ces parcs fassent l'objet d'une extension respective de 500 MW, ouvrant la voie à des raccordements mutualisés. Preuve de l'attractivité de la France pour les porteurs de projets, 10 candidats ont été pré-sélectionnés en Bretagne Sud et 13 en Méditerranée.

Outre leur positionnement sur les appels d'offres nationaux, **les développeurs-exploitants français sont également reconnus à l'étranger pour leur expertise**. En effet, ils participent au développement de plus de 10 GW, notamment au Royaume-Uni et en Corée du Sud. La réalisation des fermes pilotes et de leurs raccordements constitue **une étape déterminante pour faire**



Fabrication des flotteurs pour la ferme pilote Provence Grand Large par Eiffage Métal à Fos-sur-Mer - ©Eiffage Métal

**la preuve de l'exploitation en conditions réelles d'éoliennes flottantes et d'initier le développement d'une filière industrielle** sur le territoire français. Les plans industriels relatifs aux fermes pilotes en cours de construction font en partie appel à des entreprises basées en France, par exemple pour la fabrication des flotteurs. Celles-ci pourront ainsi **démontrer leurs savoir-faire, améliorer leur process, optimiser leur chaîne d'approvisionnement et faire monter en puissance leur outil industriel** bénéficiant ainsi d'un avantage compétitif pour le futur. A titre d'exemples, la nouvelle co-entreprise MP ArchiMed fabriquera ainsi en Occitanie 3 flotteurs de type barge de conception BW Ideol et un flotteur de connexion pour EolMed. En outre, Eiffage Métal a déjà entamé à Fos-sur-Mer la fabrication des 3 flotteurs TLP de conception SBM Offshore/IFP Énergies Nouvelles qui équiperont Provence Grand Large (**cette fabrication en série de flotteurs TLP constitue une première mondiale**). Eiffage Métal est également en charge du contrat clé en main (conception, construction et installation en mer) des 3 flotteurs semi-submersibles qui équiperont les Éoliennes Flottantes du Golfe du Lion, et dont la conception a été confiée à Principle Power, basé à Aix-en-Provence.

Par ailleurs, le marché de la conception des flotteurs attire d'autres entreprises françaises à l'image de Technip Energies (entreprise ayant conçu, construit et installé la première éolienne flottante au monde en 2009), de Dolfines ou encore Bouygues TP.

## CHIFFRES 2021 DE L'ÉOLIEN FLOTTANT

**1 160** ETP

**180** M€ d'investissements

**77** M€ de chiffre d'affaires

Plus largement, **c'est toute une filière qui est à constituer en s'appuyant sur les compétences déjà existantes pour couvrir nationalement la majorité de la chaîne de valeur de l'éolien flottant** et anticiper la massification du déploiement de cette technologie : R&D technologique, tests des démonstrateurs sur des sites d'essais adaptés aux différents types de flotteurs et puissances de turbines, études environnementales, fabrication de flotteurs, logistique, assemblage, remorquage et installation en mer des éoliennes, ainsi que la maintenance de celles-ci et leur futur démantèlement/recyclage. L'ADEME a lancé un AMI dans ce sens afin d'identifier des projets industriels de production d'équipements pour l'éolien flottant. **L'objectif visé est la montée en puissance d'un tissu d'entreprises pour créer de nouvelles unités de production ou d'augmenter les capacités actuelles** afin de permettre une industrialisation des solutions technologiques répondant aux nouveaux marchés de l'éolien flottant (usines de fabrication de modules de flotteurs, chaîne d'approvisionnement pour les lignes d'ancrage).

## LA SPÉCIFICITÉ DE L'ÉOLIEN FLOTTANT ENGENDRE DE NOUVEAUX DÉFIS À RELEVER

Il existe des différences structurelles majeures entre l'éolien posé et l'éolien flottant qui font apparaître de nouveaux défis à relever dans la perspective de la construction et l'installation des parcs commerciaux d'éolien flottant et de leurs raccordements. Tout d'abord, les matériaux avec lesquels sont conçus les flotteurs, généralement en acier ou en béton, offrent la possibilité d'une production (de modules ou de flotteurs entiers) et/ou d'un assemblage au niveau local. Pour ce faire, **il est indispensable que la France dispose des savoir-faire et des outils de production industrielle adaptés à une fabrication en série et de la logistique associée** (transport, manutention) pour des fondations flottantes de très grande taille. La logistique portuaire pourrait constituer l'enjeu principal d'un déploiement massif de l'éolien flottant, l'assemblage et le stockage des flotteurs devant s'effectuer au sein d'infrastructures littorales situées à proximité des projets au regard des enjeux liés à leur transport sur site. Bases logistiques et industrielles pour les projets, **les ports devront adapter leurs infrastructures (quai colis lourd, terre-pleins) et disposer de capacités foncières importantes** pour répondre aux enjeux de stockage, de manutention, de mise à l'eau et d'intégration des éoliennes aux flotteurs en bord à quai ainsi que de leur maintenance. Les ports de Brest et de Port-la-Nouvelle ont déjà effectué des aménagements dans ce sens (notamment dans le contexte de la réalisation des fermes pilotes) et des collaborations interportuaires voient actuellement le jour pour répondre aux futurs besoins (annonce d'une collaboration entre les ports de Brest, Lorient et Nantes Saint-Nazaire dans le cadre de l'AMI de l'ADEME pour le développement des infrastructures portuaires pour l'éolien flottant). Il sera également nécessaire d'investir dans les équipements portuaires clés (outils de levage, remorques) afin d'accompagner ces extensions. **Enfin, le remorquage des éoliennes et leur ancrage sur site nécessitera la disponibilité de navires spécialisés.**

**Concernant le raccordement,** les technologies actuelles permettent l'installation de postes en mer électriques posés (jusqu'à une centaine de mètres de profondeur). Plusieurs programmes de recherche sont toutefois en cours pour les faire évoluer, soit en **technologie flottante** (en courant alternatif ou continu), soit en **technologie sous-marine**, ce qui permettrait



Vue aérienne du port de Port-La Nouvelle – ©Région Occitanie

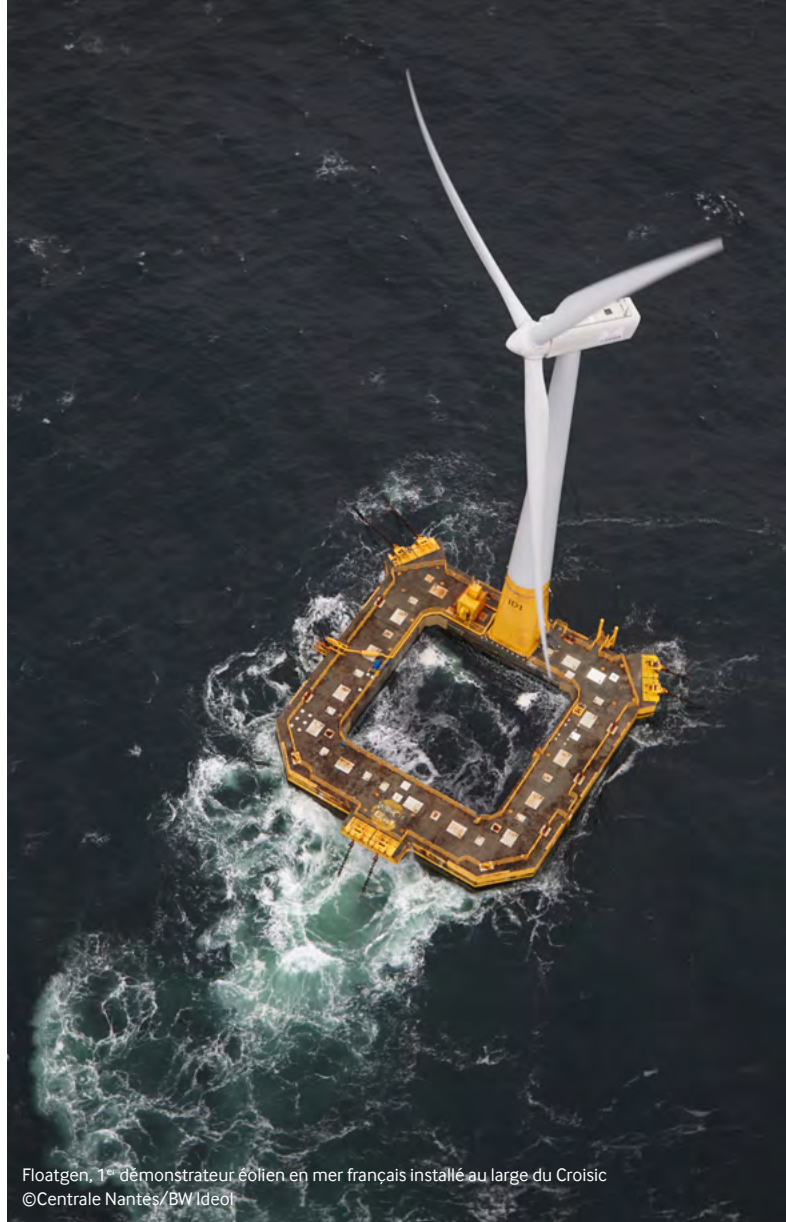
d'accroître alors encore davantage la distance d'installation des parcs éoliens à la côte. Les principaux défis associés à la technologie flottante sont d'une part **la mise au point industrielle de câbles dynamiques de très haute tension<sup>2</sup>** et d'autre part **l'adaptation des équipements électriques de très haute tension aux accélérations associées aux mouvements** de la plateforme en mer.

D'un point de vue technologique, les enjeux impliqués par l'éolien flottant sont donc nombreux. Ancrages, câbles dynamiques haute tension, longueur et profondeur des raccordements, comportement des flotteurs en conditions extrêmes ou encore installation de postes électriques en mer en eaux profondes : **l'ensemble de ces sujets font l'objet de programmes de R&D** (notamment portés par l'Institut de la Transition Énergétique France Énergies Marines, en lien avec les acteurs industriels) **afin d'innover et de lever des verrous technologiques.** Pour ce faire, il est nécessaire pour la filière de disposer de sites de tests adaptés et coordonnés. C'est la raison d'être de la future fondation Open-C, portée par l'École Centrale de Nantes, qui regroupera les 5 sites d'essais français dédiés aux énergies marines renouvelables dont **2 ont vocation à accueillir des éoliennes flottantes** (SEM-REV et Mistral).

2. Les câbles doivent avoir la capacité d'accompagner les mouvements latéraux et verticaux de la sous-station et la relier au fond marin où serait assurée la jonction avec des câbles sous-marins classiques. Les programmes DYNAMO, et OMDYN2 menés avec FEM et impliquant Centrale Nantes pour le premier vont dans ce sens.

## PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE : UN TOURNANT À NE PAS RATER POUR L'ÉOLIEN EN MER

En 2020, la France était le seul pays avec des objectifs précis pour l'éolien flottant dans son plan Energie-Climat et faisait figure de leader mondial avec 4 projets de fermes pilotes. Fin 2022, seul le démonstrateur Floatgen est installé en mer tandis que **d'autres États européens disposent de parcs pré-commerciaux**. Le Gouvernement s'est engagé, dans le cadre du « Pacte éolien en mer », à ce qu'un volume de minimum 2 GW d'éolien en mer soit attribué chaque année à partir de 2025 et il est important que la PPE pour la période 2024-2028 précise la part que représentera l'éolien flottant dans ces volumes et fixe un calendrier de projets pour cette technologie. **Seuls des volumes importants et réguliers adossés à une planification spatiale de long terme permettront d'exploiter pleinement le potentiel national**, de bénéficier d'un effet d'échelle pour baisser les coûts et de retrouver un statut de figure de proue de l'éolien flottant. La loi d'accélération des énergies renouvelables, bientôt en débat au Parlement, ainsi que la loi de programmation Energie-Climat prévue en 2023 pourraient être l'occasion notamment de simplifier les procédures. **Une meilleure visibilité est en effet nécessaire pour tous les acteurs qui doivent anticiper la massification du déploiement de la technologie** (investissements dans les infrastructures et les outils de production, besoin en formation, etc.). La réussite des projets passera aussi par leur capacité à générer une activité économique locale, directement conditionnée à cette planification et cette simplification des projets EMR.



Floatgen, 1<sup>er</sup> démonstrateur éolien en mer français installé au large du Croisic  
©Centrale Nantes/BW Ideol



Note réalisée par l'Observatoire des énergies de la mer du Cluster Maritime Français

Rédaction sous la coordination de :

Étienne Pourcher, Christophe Clergeau, Marc Lafosse

[www.merenergies.fr](http://www.merenergies.fr)

Conception : [www.forget-menot.com](http://www.forget-menot.com)