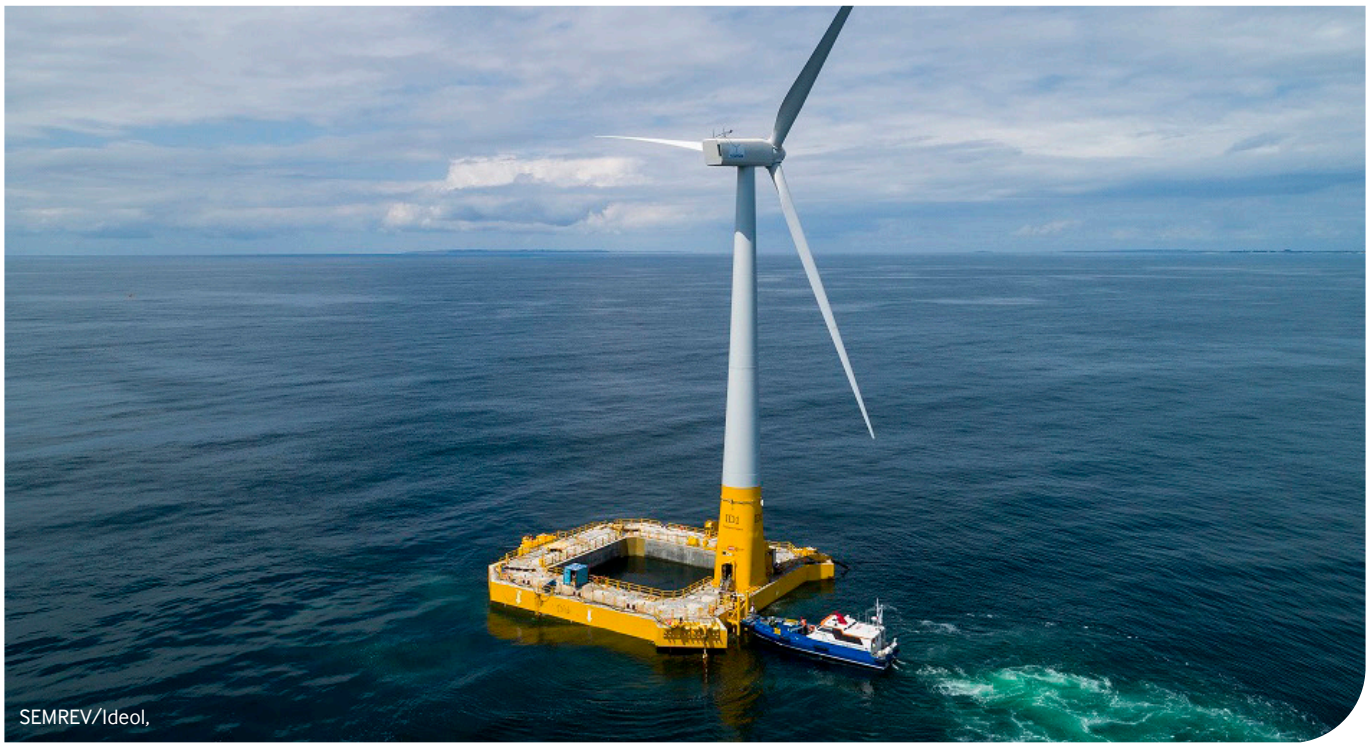
LES NOTES DE L'OBSERVATOIRE
#7 SEPTEMBRE 2020

ÉOLIEN FLOTTANT : à la conquête du large !

La réussite de la transition énergétique engagée à l'échelle planétaire passera par un recours croissant à une énergie décarbonée. Au vu de son potentiel, **l'éolien en mer** est ainsi amené à prendre **une part de plus en plus importante** dans le mix énergétique mondial. L'éolien en mer posé a d'ores et déjà prouvé sa compétitivité et sa capacité à fournir de l'électricité à grande échelle. Selon les caractéristiques du site et du projet, cette technologie peut cependant se révéler coûteuse dans des eaux de plus de 50 mètres de profondeur. En s'affranchissant de cette contrainte bathymétrique, **l'éolien flottant** (éolienne et, si nécessaire, poste électrique en mer installés sur un flotteur) **s'inscrit comme une technologie complémentaire à l'éolien en mer posé**, permettant une installation du parc éolien dans des espaces maritimes **jusque-là hors de portée et souvent plus ventés.** L'éolien flottant jouit ainsi d'un **potentiel d'implantation considérable** et peut bénéficier de conditions de vents encore plus favorables car plus au large ainsi que d'une moindre visibilité depuis la côte. De plus, la pression des contraintes d'usage est moins forte à mesure que l'on gagne le large. Technologie relativement récente, l'éolien flottant poursuit son développement avec le **déploiement de fermes pilotes** et avec la **perspective proche de parcs commerciaux**. De nombreux pays s'intéressent à l'éolien flottant, à l'image du Royaume-Uni (Ecosse), du Japon ou encore des États-Unis mais **l'Europe concentre actuellement la majorité des projets** et la **France** figure parmi les acteurs majeurs du secteur.


SEMREV/Ideol,

PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE : UNE AMBITION AFFICHÉE DE 750 MW DÈS 2022

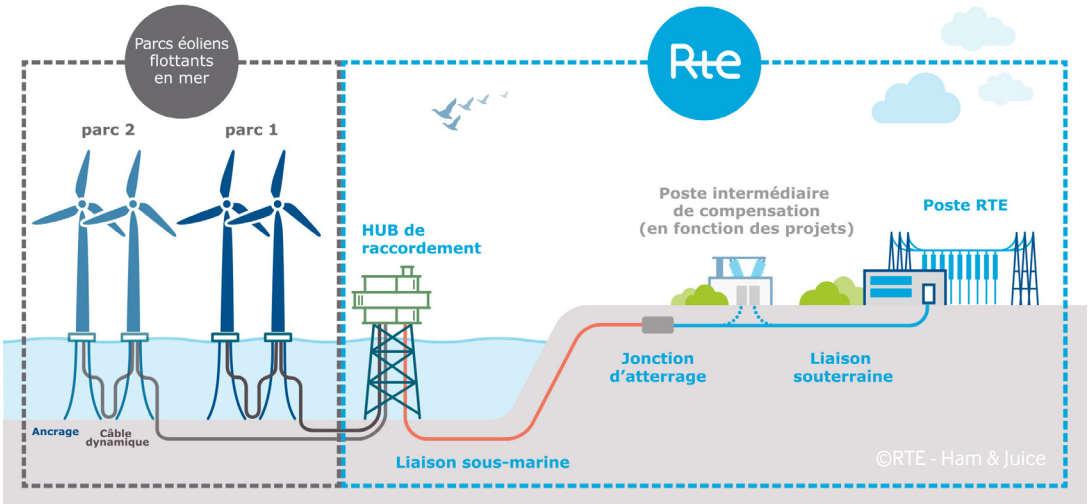
La France fait figure de pays moteur dans le cadre du développement de l'éolien flottant. En effet, en plus des **4 projets de fermes pilotes** actuellement en cours de développement, la France est **le seul pays à avoir inscrit des objectifs précis pour le développement de parcs commerciaux** dans son Plan national énergie-climat. Il est ainsi prévu l'attribution d'**un parc commercial de 250 MW au large de la Bretagne Sud** en 2021 et de **2 parcs de 250 MW en mer Méditerranée en 2022.** Bien que les objectifs précis pour la deuxième période de la PPE (2024-2028) ne soient pas encore connus, le Gouvernement a communiqué sur le fait que les champs éoliens flottants de 250 MW en Méditerranée et en Bretagne auront **vocation à être étendus** pour atteindre plus de **750 MW chacun** (soit 2,2 GW au total) en cas d'atteinte des objectifs de baisse des coûts (diminution de moitié par rapport aux fermes pilotes), et avec un raccordement mutualisé au réseau public de transport d'électricité terrestre (voir illustration infra).
Ces objectifs chiffrés constituent une avancée positive pour la filière mais il sera primordial que les **calendriers fixés soient respectés** et que les **procédures** pour obtenir les autorisations soient **simplifiées** afin d'accélérer la mise en service des projets et permettre d'atteindre les objectifs fixés en matière de transition énergétique.

La France peut prétendre à des objectifs plus importants si l'on considère son potentiel et au regard des objectifs visés par les principales Régions concernées ; l'Occitanie et Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur visent, dans leurs outils de planification régionaux, 3 GW installés à horizon 2030 en Méditerranée, et la Bretagne 3 GW à la même échéance en Atlantique et Manche Ouest. D'un point de vue territorial, **la réussite des projets passera par leur capacité à générer une activité économique** locale conséquente. La façon dont sont conçus les flotteurs s'y prête bien puisqu'ils sont généralement en acier ou en béton et qu'ils peuvent être produits ou assemblés localement, notamment au sein des infrastructures portuaires situées à proximité. Les capacités foncières seront un enjeu clé pour le développement local de l'éolien flottant. D'ores et déjà, des ports comme Brest et Port-la-Nouvelle investissent dans des infrastructures capables d'accueillir de tels projets. Une meilleure visibilité sur les calendriers et les volumes sera essentielle afin d'éviter les creux de charge et pour sécuriser les investissements nécessaires sur le territoire. Cela permettra, en outre, de baisser de manière significative le prix de l'électricité produite par l'éolien flottant en bénéficiant d'un effet d'échelle, comme l'éolien en mer posé.

LE POINT SUR LA TECHNOLOGIE

Une **éolienne flottante** est constituée d'une éolienne dite 'offshore' (éolienne spécifiquement conçue 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 fixe et de bénéficier d'une bonne stabilité. Les parcs, constitués de plusieurs éoliennes produisent de l'électricité qui est ensuite acheminée à terre par l'intermédiaire d'une plateforme de transformation électrique en mer et de câbles haute tension qui constituent le raccordement au réseau.

Schéma de principe d'un raccordement mutualisé de parcs éoliens flottants au réseau de transport d'électricité



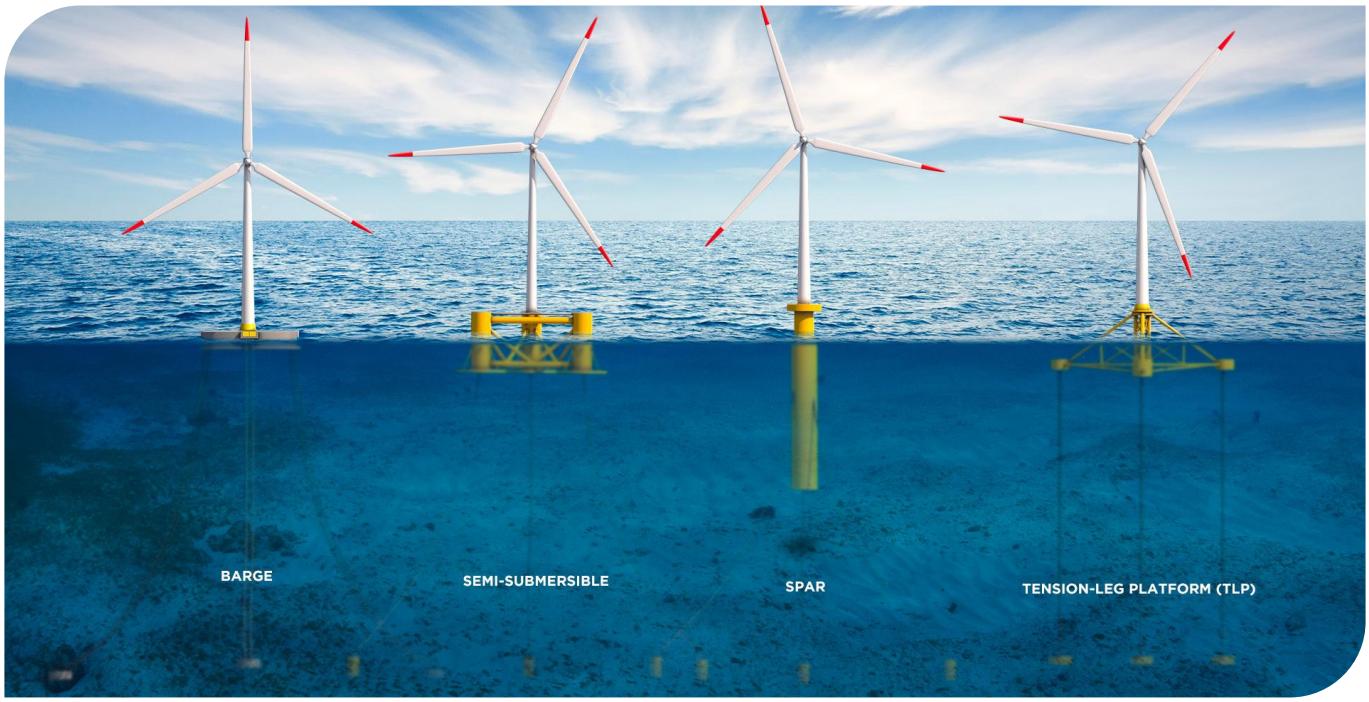
Le **principal défi technologique** réside dans la réalisation du flotteur et des ancrages puisque la structure doit pouvoir accueillir une éolienne de l'ordre de 200 mètres de hauteur, tout en assurant une bonne **stabilité** à l'ensemble. **Quatre types de flotteurs** se démarquent particulièrement et sont concernés par des projets installés ou en cours de développement :

→ **Le flotteur semi-submersible :** il s'agit du modèle de flotteur **le plus répandu** actuellement dans le monde. Cette fondation en acier ou en béton se présente généralement sous la forme d'un trépied avec **trois colonnes cylindriques** (ou quatre) reliées par des structures métalliques. La stabilité de la structure est assurée grâce à un système de ballastage qui permet l'immersion d'une partie de la fondation. Cette structure est caractérisée par sa grande taille et son tirant d'eau réduit.

→ **Le flotteur immergé avec câbles tendus** (Tensioned Leg Platform ou TLP) : ce flotteur présente la particularité d'être **majoritairement immergé.** La plateforme est en effet reliée au fond marin par des câbles sous tension qui s'opposent à la remontée du flotteur en exerçant une force vers le fond. De ce fait, **les lignes de mouillage sont soumises à un effort important** ce qui est moins le cas pour les autres types de flotteur où les câbles sont plus 'relâchés'.

→ **Le flotteur de type SPAR** (Single Point Anchor Reservoir) : il s'agit d'un flotteur qui se caractérise par sa **forme cylindrique** s'inscrivant dans le prolongement du mât de l'éolienne. Sa stabilité lui est conférée par son lourd ballast qui abaisse le centre de gravité de l'ensemble. Pour ce faire le cylindre doit être de **grande taille** (70 à 80 mètres pour une éolienne de 6 MW), rendant son installation possible uniquement dans des **profondeurs supérieures à 100 mètres**. En raison de la configuration particulière du flotteur, l'assemblage de l'éolienne sur la fondation doit se faire en mer.

→ **Le flotteur semi-submersible de type 'barge' :** cette fondation est la plus **compacte** d'entre toutes. Celle-ci est comparable à une 'barge' rectangulaire percée en son centre. Constituée principalement de béton ou en acier, celle-ci est opérable **dès 30 mètres de profondeur**.



Les flotteurs sont des structures qui mesurent **plusieurs dizaines de mètres** et leurs dimensions s'adaptent si nécessaire à l'ouvrage qu'elles doivent accueillir. La majorité des flotteurs utilisés dans le cadre de l'éolien flottant est en fait inspirée par des technologies utilisées dans les industries de **l'offshore pétrolier et gazier et de la construction navale** (SPAR, TLP, semi-submersible), technologies qui sont ensuite adaptées pour pouvoir accueillir une éolienne et être fabriquées en série. Ainsi, le secteur de l'éolien flottant bénéficie déjà de l'expérience acquise depuis de nombreuses années par les entreprises de l'Oil & Gas et la construction navale et de leurs compétences pour accélérer son développement.
Une **trentaine de technologies** de flotteurs sont actuellement en développement rien qu'en Europe, à des niveaux de maturité (TRL) variés. De son côté, l'ADEME accompagne le développement de flotteurs innovants en étant partenaire de différents projets comme **EolFloat** (Dietswell), **EFFICACE** (Eolink) ou encore **AFLOWT** (SAIPEM).

DES DÉFIS À RELEVER

L'éolien flottant demeure une technologie relativement jeune qui doit démontrer sa capacité à s'industrialiser pour de futurs projets à grande échelle et rejoindre les coûts compétitifs de l'éolien en mer posé. De nombreux sujets de recherche et axes d'optimisation existent concernant les flotteurs, les ancrages, les câbles dynamiques haute tension. La réussite des projets d'éolien flottant passera par ces innovations. Pour ce faire, les travaux de **Recherche & Développement** et le besoin **d'innovations** sont plus que jamais primordiaux. Les acteurs publics doivent **amplifier leur soutien** à la filière afin de lever les derniers verrous technologiques et donner aux entreprises des perspectives pour qu'elles innovent.

Région Bretagne/Port de Brest

La logistique relative à l'éolien flottant restant à inventer, les acteurs concernés (notamment les ports) devront adapter leurs infrastructures et faire preuve d'imagination (et de collaboration) afin de trouver le moyen d'optimiser les processus. Les ports de **Brest** et de **Port-la-Nouvelle**, directement concernés par le développement de l'éolien flottant, ont d'ores et déjà entamé des aménagements afin de pouvoir accueillir les activités associées à cette technologie. Le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) réfléchit également à sa stratégie en la matière. Qu'il **s'agisse d'activités industrielles** à pérenniser (fabrication et assemblage de flotteurs, d'éoliennes) ou d'infrastructures à adapter pour permettre le déploiement des projets, là aussi les acteurs ont besoin de visibilité en termes de volumes et de calendrier.

UN POTENTIEL CONSIDÉRABLE

L'éolien flottant présente de **nombreux avantages** qui pourraient permettre à cette technologie de se déployer rapidement. En effet, en ayant la possibilité d'être ancré à des profondeurs comprises **entre environ 30 mètres et 300 mètres**, ce type de parcs éoliens permettra l'exploitation de nouveaux espaces maritimes plus favorables. De ce fait, l'Agence Internationale de l'Énergie estime le potentiel de production de l'éolien flottant à 330 000 TWh/an (soit **79% du potentiel de l'éolien en mer**) à l'échelle du globe (source : Offshore Wind Outlook 2019) et communique un potentiel d'environ 40 000 TWh/an à l'échelle de l'Europe (potentiel calculé pour des profondeurs supérieures à 60 mètres). ETIP Wind, organisme européen pour la recherche et l'innovation, estime que le flottant peut représenter à terme 80% de l'éolien offshore. En **France**, l'ADEME estime le **Potentiel Exploitable** tenant compte des autres usagers de la mer à **33 GW** à horizon 2028 (source : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie).

La possibilité d'installer ces éoliennes plus au large leur permet d'être exposées à des **vents plus forts et plus constants,** améliorant ainsi de manière significative leur production d'électricité, donc leur facteur de charge[1]. De plus, l'éloignement des parcs par rapport au littoral **favorise la coexistence** avec les autres usages de la mer moins nombreux plus au large et **limite la visibilité des éoliennes** depuis la côte. En conséquence, il est crédible que l'acceptabilité socio-économique des projets soit améliorée. De plus, l'impact environnemental apparaît comme relativement réduit pour l'éolien flottant puisque l'emprise au sol se limite aux ancrages et qu'il y a moins de travaux en mer puisque les structures sont assemblées au port. Par son éloignement des côtes, l'éolien flottant pourrait se prêter aux développements technologiques vers le stockage d'énergie comme l'hydrogène.

1. Rapport entre l'énergie électrique produite sur une période donnée et l'énergie potentiellement produite à puissance maximale sur cette même période

L'EUROPE PIONNIÈRE

Avec **3 projets installés** ou en cours d'installation (dont 2 en Ecosse et 1 au Portugal) et 70% de la capacité installée mondiale en 2019 (source Windeurope), **l'Europe** s'impose comme la **région du monde la plus avancée dans le développement de l'éolien flottant**.

→ **Hywind Scotland** constitue le **1er parc dit commercial** à avoir été installé, puisqu'il a été mis en service en Écosse en 2017. Ce projet, développé et exploité par **Equinor**, est composé de 5 éoliennes de 6 MW (SGRE) additionnées à une éolienne de 2,3 MW, **Hywind Demo**, 1ère **éolienne flottante installée** initialement en Norvège en 2009. Le projet utilise des flotteurs SPAR développés par Equinor. La capacité installée totale de cette ferme est de 32,3 MW, ce qui en fait le **projet en service disposant de la puissance installée la plus grande**.

→ **WindFloat Atlantic,** situé au Portugal, est un projet qui a vu l'installation de trois éoliennes de 8,4 MW (pour une capacité installée totale de 25,2 MW). Les deux premières éoliennes ont été installées en mer et raccordées au réseau en fin d'année 2019 tandis que la 3ème éolienne a été installée début juin (le raccordement a été effectué début juillet 2020). La turbine MHI Vestas utilisée pour ce parc développé par **Engie et EDPR** est actuellement **la plus puissante à avoir été installée sur un flotteur** (celui-ci est de type semi-submersible et a été conçu par Principle Power).

→ Le projet **Kincardine**, localisé en Ecosse, accueille actuellement une seule éolienne de 2 MW. L'installation prochaine de 5 éoliennes MHI Vestas d'une puissance unitaire de 9,5 MW viendra compléter le parc qui **deviendra alors celui disposant de la plus grande capacité installée** avec 49,5 MW à horizon 2021.

À la mi-2020, ce sont ainsi **61,8 MW** qui sont en service en Europe (dont 59,5 MW dans des parcs et 2,3 MW pour des prototypes ou démonstrateurs). L'aventure de l'éolien flottant étant encore à son commencement, ces projets auront également pour objectif de prouver la faisabilité technique et la rentabilité des différentes technologies afin de **passer au stade commercial**.

Le nombre de mégawatts mis en service prévus à horizon fin 2023 est de **251 MW** (cf tableau récapitulatif ci-dessous), ce qui porterait la puissance cumulée totale à **312,8 MW**.

Tableau récapitulatif des principaux projets d'éolien flottant en Europe

ÉCOSSE	**Kincardine**	47,5 MW	5 éoliennes de 9,5 MW (flotteur semi-submersible)	**2021**
NORVÈGE	**Hywind Tampen** (projet qui alimentera des plateformes pétrolières en mer)	88 MW	11 éoliennes de 8 MW (flotteur SPAR)	**2022**
FRANCE	**EolMed**	30 MW	3 éoliennes de 10 MW (flotteur de type 'barge')	**2022/2023**
	Provence Grand Large	24 MW	3 éoliennes de 8 MW (flotteur TLP)	**2022**
	Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion	30 MW	3 éoliennes de 10 MW (flotteur semi-submersible)	**2022/2023**
	Eoliennes Flottantes de Groix et Belle-Île	28,5 MW	3 éoliennes de 9,5 MW (flotteur semi-submersible)	**2022**

→ D'autres projets sont en cours de développement mais à un stade moins avancé, en particulier au large des **îles Canaries** où Equinor a reçu l'autorisation pour la création d'un parc de 200 MW et Greenalia envisage l'installation de 4 éoliennes flottantes de 12,5 MW dans un avenir proche. De même, un projet de 96 MW (Erebus) est en cours de développement au large du **Pays de Galles**.

LA FRANCE AFFIRME SON AMBITION

À l'heure actuelle, **une seule éolienne flottante** raccordée est installée au large des côtes françaises et il s'agit du prototype **Floatgen** qui est accueilli au sein du **SEM-REV**, site d'essais en mer de l'École Centrale de Nantes (site permettant de tester des prototypes en conditions réelles avec un raccordement électrique moyenne tension). Le site Mistral est également dédié à l'éolien flottant en Méditérannée et pourrait accueillir prochainement des technologies flottantes en phase de test.
Si la France ne compte pas encore de ferme pilote ou de parc commercial installé, le pays se distingue par le **nombre de projets** qui sont **actuellement en cours de développement** pour une capacité installée d'environ **115 MW** mise en service à horizon 2022/2023. La **Méditerranée** est particulièrement concernée par ces projets puisqu'elle en accueillera 3 : **EolMed** (développé par Qair Marine) au large de Gruissan, **Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion** (au large de Leucate-Le Barcarès, développé par Engie/EDPR) et **Provence Grand Large** (au large du Golfe de Fos-sur-Mer, développé par EDF renouvelables). **L'Atlantique** n'est pas en reste puisque le quatrième projet de ferme pilote, **Eoliennes Flottantes de Groix et Belle-Île**, sera situé au large de la Bretagne (développé par Eolfi Shell). Tous ces projets ont été attribués en 2016 à la suite d'**Appels A Projets lancés par l'ADEME** (EOLFLO) et permettront de tester les différentes technologies de fondations flottantes.

LES CHIFFRES CLÉS DE L'ÉOLIEN FLOTTANT EN FRANCE

La filière de l'éolien flottant en France génère déjà de l'activité et des retombées comme le montrent les résultats de l'enquête 2020 de l'Observatoire des énergies de la mer.

636 EMPLOIS
21% des emplois de la filière EMR nationale, deuxième technologie pourvoyeuse d'emplois derrière l'éolien posé.

42 M€ DE CA[2]
14% du chiffre d'affaires de la filière EMR nationale

82 M€
D'INVESTISSEMENTS
22% des investissements de la filière EMR nationale

2. CA : chiffre d'affaires

Ideol

La réalisation de fermes pilotes est une étape d'apprentissage déterminante pour faire la preuve de l'exploitation en conditions réelles d'éoliennes flottantes et préparer le changement d'échelle que représente la phase commerciale. **Ces fermes pilotes initient également la création d'une filière industrielle de l'éolien flottant sur les territoires français :** en s'appuyant autant que possible sur des compétences nationales et régionales, les réalisations des projets pilotes permettent de former et d'attirer des sous-traitants issus d'autres filières capables d'investir et de se déployer sur l'éolien flottant, d'abord en France, puis au niveau international. Cette phase offre la possibilité pour les acteurs industriels, notamment les fournisseurs de flotteurs, de démarrer la montée en puissance de leurs outils industriels pour ensuite réduire les délais (main d'œuvre formée, rythme régularisé...), les coûts et les risques industriels pour des projets de plus grande envergure.

Les entreprises françaises se positionnent sur **l'ensemble de la chaîne de valeur** de l'éolien flottant et certaines font figure de **pionnières** dans le secteur. Les **développeurs** que sont **EDF Renouvelables**, **Eolfi**, **Qair Marine** et **Ocean Winds (Engie/EDPR)** développent les projets de fermes pilotes en France et étendent leurs activités à l'étranger (Eolfi en Asie et Engie au Portugal dans le cadre du projet WindFloat Atlantic). **Total** a récemment pris des participations dans le projet Erebus, signant par la même occasion son entrée dans le secteur de l'éolien flottant.

Atlantique Offshore Energy, la Business Unit de Chantiers de l'Atlantique dédiée aux énergies marines, a par ailleurs lancé l'année dernière avec Ideol la commercialisation de **la première sous-station électrique offshore flottante au monde.**

Concernant **les entreprises de services,** la France dispose d'un autre acteur majeur, **Bourbon Subsea Services** (filiale de Bourbon Offshore), qui a procédé à l'installation de **l'ensemble des éoliennes sur fondations semi-submersibles** dans les parcs européens (Kincardine, WindFloat Atlantic).

Atlantique Offshore Energy

DANS LE RESTE DU MONDE : L'ASIE EN POINTE

Dans le reste du monde, **l'Asie** apparaît comme la **région la plus dynamique** pour développer l'éolien flottant. Des pays comme le **Japon**, la **Corée du Sud** ou encore **Taïwan** s'intéressent à cette technologie du fait de leur géographie marine puisque la profondeur de leurs fonds marins augmente rapidement lorsque l'on s'éloigne des côtes. Le Japon est le pays qui se démarque le plus en **multipliant l'installation de démonstrateurs** (au moins 4 depuis 2013) comme en 2018 au large de Kitakyushu (sud-ouest du Japon) avec le démonstrateur de 3 MW Hibiki (projet utilisant un flotteur IDEOL en acier et financé par la NEDO, organisation en charge des énergies renouvelables et du développement technologique au Japon). Parmi les appels d'offres lancés, certains pourraient accueillir des parcs éoliens flottants.

De l'autre côté du Pacifique, les **États-Unis** constituent l'autre grand marché émergeant avec un projet de 12 MW (Aqua Ventus) développé dans le Maine et 5 projets commerciaux totalisant 2 200 MW de capacité qui sont en projet, à Hawaï et en Californie.

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
Conception : www.forget-menot.com