

— ÉTUDES MARINES —

ÉNERGIES

N°16 – Juin 2019
Centre d'études stratégiques de la Marine

SOMMAIRE

PRÉFACE

Capitaine de vaisseau Yves Postec 6

« La transition énergétique suppose de prendre en compte l'ensemble des paramètres... »

Entretien avec Arnaud Leroy 8

La mer, milieu clef du domaine énergétique

Dr. Nicolas Mazzucchi 16

Le gaz naturel liquéfié, une composante maritime essentielle de la géopolitique des hydrocarbures

Capitaine de vaisseau (RC) Jérôme Ferrier 30

Les énergies marines renouvelables, porteuses d'une ambition énergétique et industrielle pour la France

Anne Georgelin 40

« La demande en électricité ne cessera de croître... » Entretien avec Philippe Sauquet	54
Énergies renouvelables : l'enjeu des ressources minérales Patrice Christmann	62
Dépendance énergétique : développement et protection des flux stratégiques maritimes Capitaine de frégate Franck Maire	80
« Le bateau-atelier, un retour aux sources » Entretien avec Titouan Lamazou	90

Les énergies marines renouvelables, porteuses d'une ambition énergétique et industrielle pour la France

Anne GEORGELIN

Responsable de filières Énergies marines renouvelables

Syndicat des énergies marines renouvelables

« Réfléchissez au mouvement des vagues, au flux et reflux, au va-et-vient des marées. Qu'est-ce que l'océan? Une énorme force perdue. Comme la terre est bête! Ne pas employer l'océan! »

Victor Hugo, *Quatre-vingt-treize*, 1874.

L'indignation de Victor Hugo en témoigne, l'idée d'exploiter l'énergie des océans est ancienne. La force des vagues, des vents marins, des courants, des marées ou encore la variation des paramètres physico-chimiques de l'océan peuvent être utilisées comme sources d'énergie renouvelable pour répondre à nos besoins en électricité ou en production de froid. La France, notamment grâce à la géographie de son vaste espace maritime et à la richesse de ses savoir-faire industriels et portuaires, dispose d'un fort potentiel pour exploiter ces énergies. Pourtant, malgré une expérience de pionnier avec l'installation de l'usine marémotrice de la Rance il y a plus de cinquante ans et un grand nombre de brevets obtenus par des sociétés françaises dans le secteur de l'hydrolien, c'est ailleurs en Europe que le marché de l'éolien en mer s'est largement développé ces dernières années. Parmi la diversité des technologies d'énergies marines renouvelables (EMR) et leurs stades de maturité différenciés, notre pays peut trouver des atouts pour réussir sa transition énergétique et développer de nouvelles filières industrielles compétitives, porteuses d'emplois sur les territoires.

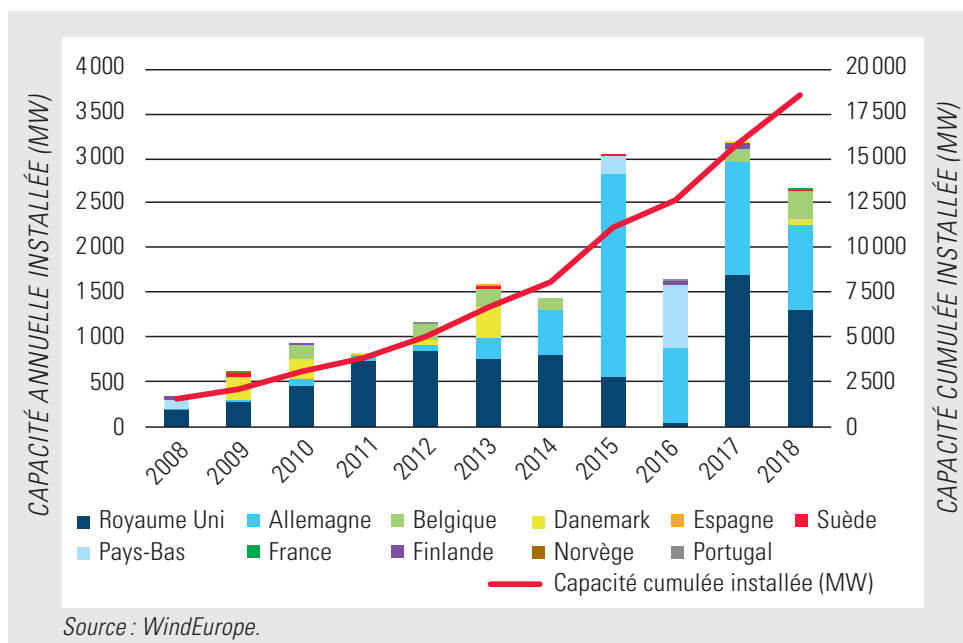
Panel des technologies d'énergies marines renouvelables

La filière des énergies marines renouvelables recouvre aujourd'hui une grande diversité de technologies utilisant les différentes forces et caractéristiques de la mer : l'éolien en mer, l'hydrolien, le houlomoteur, le marémoteur, l'énergie thermique des mers et l'énergie osmotique.

L'installation d'éoliennes en mer vise à transformer l'énergie cinétique des vents en mer, particulièrement forts et réguliers, en énergie mécanique, puis en électricité (grâce à des génératrices entraînées par le mouvement des pales, actionnées par le vent). Les éoliennes en mer fonctionnent comme les éoliennes à terre, mais sont fixées sur des fondations posées au sol (éolien en mer posé) ou installées sur des structures flottantes, faites de béton ou d'acier, ancrées aux fonds marins (éolien en mer flottant). Le choix entre ces différentes fondations, posées ou flottantes, dépend de la bathymétrie des sites ; quant à la vitesse de vent propice à l'installation des éoliennes en mer, une vitesse nominale de 7m/s (13,5 nœuds) est aujourd'hui considérée comme minimale. Avec plus de 4 500 éoliennes en mer installées ces

vingt-cinq dernières années, l'énergie éolienne en mer posée constitue actuellement la seule technologie d'énergie marine déjà parvenue en phase commerciale à l'échelle européenne. La technologie est éprouvée et peut être installée jusqu'à des profondeurs de 50 mètres environ, différents types de fondations (*jacket*, monopieu ou gravitaire) permettant d'adapter les structures à la nature du sol. L'éolien en mer flottant, une solution technique nouvelle, aujourd'hui déployée sur quelques sites de démonstration, permettra de produire de l'électricité plus loin des côtes, où la mer est beaucoup plus profonde (jusqu'à 350 mètres de fond) et les vents marins encore plus forts et plus stables. De nouveaux gisements, aujourd'hui inexploitable, pourront ainsi être utilisés, notamment en Méditerranée et dans l'Atlantique, en réduisant encore plus la visibilité de ces installations.

Capacité éolienne en mer installée par année et cumulée, fin 2018



L'énergie hydrolienne permet d'exploiter l'énergie cinétique contenue dans les courants associés au déplacement des masses d'eau qui accompagne le phénomène de marée. Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne : la force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices, l'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transmise à un alternateur et ce dernier produit de l'énergie électrique acheminée par des câbles sous-marins jusqu'au rivage. La diversité des technologies hydroliennes existantes actuellement, qui peuvent être posées sur les fonds marins ou flottantes, permet aussi bien d'exploiter des courants marins particulièrement puissants (dont la vitesse peut s'élever jusqu'à 5 m/s) que l'énergie de sites moins énergétiques mais parfois plus simples d'accès, tels que dans les fleuves ou les estuaires. L'hydrolien présente le grand intérêt d'être

une énergie tout à fait prédictible, car l'intensité et le rythme des marées sont très largement prévisibles, et de pouvoir occuper peu d'espace, car du fait de la densité de l'eau, plus forte que celle de l'air, les machines peuvent être compactes. L'énergie hydrolienne peut également être exploitée dans les fleuves et les estuaires, avec des machines de plus petites dimensions et de moindre puissance qu'en milieu marin.

L'énergie marémotrice consiste à exploiter l'énergie potentielle de la marée en utilisant les différences de niveau entre haute et basse mer. Les variations périodiques du niveau de la mer sous l'effet de la marée sont donc particulièrement prédictibles. La première utilisation attestée en France de l'énergie marémotrice date du début du XII^e siècle : ainsi, l'usine marémotrice de la Rance, mise en service en 1967, a été installée sur un site qui avait déjà connu dans l'histoire de nombreux moulins à marée. À ce jour, quatre centrales sont en fonctionnement au monde : Sihwa, en Corée du Sud, avec 254 MW a détrôné l'usine française de la Rance (240 MW), vient ensuite Annapolis au Canada (20 MW) puis une usine de 5 MW et quelques installations de taille réduite en Chine. La technologie marémotrice est mature et maîtrisée ; néanmoins, les sites propices à de telles activités sont rares et nécessitent de lourds investissements sur le territoire.

L'énergie houlomotrice est une forme concentrée de l'énergie du vent : en effet, lorsque celui-ci souffle sur la mer, des vagues se forment et transportent de l'énergie cinétique. Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle flottant ou côtier, elles libèrent une partie de cette énergie qui peut être transformée en courant électrique. Les technologies houlomotrices n'ont pas encore atteint un niveau de maturité comparable aux autres EMR, mais font l'objet d'importants travaux de R&D et de nombreux prototypes, sur la base de matériaux métalliques ou plus innovants. Globalement, les latitudes élevées sont mieux exposées et les côtes ouest européennes, comme le golfe de Gascogne, disposent d'un fort potentiel. Le potentiel énergétique est également fort à La Réunion, en Polynésie et en Nouvelle-Calédonie ainsi que localement en Martinique et en Guadeloupe. Dix fois plus forte en hiver qu'en été, l'énergie de la houle a l'avantage d'être en phase avec la demande électrique.

Développée par la France dans les années 1930 puis dans les années 1980, l'énergie thermique des mers (ETM) permet d'exploiter la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans : l'énergie est issue de l'échange thermique entre l'eau froide et l'eau chaude. Pour que le cycle de l'ETM fonctionne, il est nécessaire de disposer d'un différentiel d'au moins 20°C. L'ETM est donc une technique particulièrement adaptée à la zone intertropicale, où l'amplitude de températures est importante. Dans cette région, on peut en

effet passer de plus de 20°C en surface à 5°C ou moins au-delà de 1 000 mètres de profondeur. Cependant, l'énergie thermique des mers n'est pour l'instant économiquement exploitable qu'à une distance raisonnable des côtes habitées. L'ETM constitue ainsi une source d'énergie très adaptée aux régions insulaires qui présentent une demande énergétique importante couplée à un besoin en eau douce souvent non négligeable. À noter que la climatisation est aussi une application directe de l'énergie thermique des mers avec le système SWAC (*Sea Water Air Cooling*), en utilisant l'eau profonde froide directement comme réfrigérant pour des machines thermiques ou pour du conditionnement d'air, qui offre aujourd'hui une solution mature et compétitive de production de froid renouvelable pour équiper hôtels, bâtiments publics, hôpitaux, etc. D'autres usages sont également associés à l'ETM, tels que le dessalement d'eau de mer (un petit hybride ETM de 1 MW est capable de produire quelque 4 500 mètres cubes d'eau douce par jour, soit suffisamment pour couvrir les besoins d'une population de 20 000 personnes) et l'aquaculture, valorisant la richesse en éléments nutritifs de l'eau froide.

Moins connue et encore très peu mature, l'énergie osmotique permet d'exploiter la différence de salinité entre l'eau douce et l'eau de mer. Les deux natures d'eau étant séparées par une membrane semi-perméable, utiliser une hauteur d'eau ou une pression créée par la migration de molécules à travers ladite membrane génère un débit qui peut alors être turbiné pour produire de l'électricité.

Malgré des stades de maturité différents, le potentiel technique exploitable (PTE) des énergies marines renouvelables est immense :

ÉNERGIES MARINES : PTE MONDIAL DES 5 FILIÈRES STRATÉGIQUES				
PTE > 3 000 GW	PTE > 1 000 GW		PTE > 100 GW	
ÉOLIEN <i>OFFSHORE</i> FLOTTANT	ÉOLIEN <i>OFFSHORE</i> POSÉ	HOULOMOTEUR	HYDROLIEN	ETM (Énergie thermique des mers)
vecteur énergétique vents marins	vecteur énergétique vents marins	vecteur énergétique houle et vagues	vecteur énergétique courants des marées	vecteur énergétique différentiel de température fond/surface
= 3 000 à 4 000 GW	= 1 000 à 1 500 GW	= 1 000 à 1 500 GW	= 75 à 100 GW	= 100 à 150 GW
FILIÈRES À POTENTIEL MONDIALISÉ				TROPIQUES (sans rupture technologique)
PTE EMR mondial = 20 000 TWh, soit l'équivalent de la consommation électrique mondiale actuelle				

Source : INDICTA.

Les EMR: atouts et solutions pour le mix énergétique français

La lutte contre le changement climatique, l'indépendance énergétique, la sécurité d'approvisionnement et la compétitivité des moyens de production d'électricité sont des enjeux majeurs pour notre société. Les énergies renouvelables constituent une réponse à ces enjeux et contribuent au développement d'une offre nationale de production d'électricité non émettrice de gaz à effet de serre. La loi de transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 fixe l'objectif d'une part de 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie et 40 % de la production électrique en 2030.

La France est l'un des rares pays à bénéficier d'un potentiel de développement important pour chacune des sources énergies marines renouvelables. En complément des énergies renouvelables installées à terre (hydroélectricité, solaire photovoltaïque, éolien terrestre, etc.), les EMR constituent autant de solutions renouvelables pour atteindre nos objectifs de transition du mix énergétique français, grâce à leurs nombreux atouts, parmi lesquels :

- différents types d'application, comme la production d'électricité, le froid renouvelable ou le stockage d'énergie, offrant des opportunités pour la transition de l'ensemble de nos besoins énergétiques ;
- une courbe de production hautement prédictible ; le vent (et la houle) est par nature variable et peut fluctuer d'un jour à l'autre, mais la totalité de l'énergie produite par l'ensemble du parc éolien français peut être prévue grâce aux outils de prévisions météorologiques aujourd'hui particulièrement précis. Ses trois façades maritimes permettent à notre pays de bénéficier de plusieurs régimes de vent, offrant une bonne complémentarité des productions qui en sont issues. L'énergie provenant des phénomènes de marée (hydrolien, marémoteur) a l'avantage de pouvoir être prédite avec exactitude plusieurs années à l'avance ; quant à l'énergie thermique des mers, elle est disponible en permanence.

L'énergie éolienne en mer constitue une ressource énergétique continue, avec un taux de production élevé, grâce à la régularité des flux de l'océan, permettant d'injecter massivement et régulièrement une électricité renouvelable et locale sur notre réseau – l'espace maritime offrant la possibilité d'installer des machines de très larges dimensions (de plusieurs centaines de mètres de diamètre). Elle se caractérise par des installations très puissantes (de 500 à 1 000 MW) et un productible élevé, grâce à des vents marins particulièrement forts et réguliers,

conduisant les éoliennes à fonctionner près de 90 % de l'année. À titre d'exemple, la production d'un parc éolien en mer de 500 MW couvre l'équivalent de la consommation domestique en électricité de plus de 700 000 personnes.

Les perspectives de baisse des coûts sont remarquables, comme en témoigne la filière de l'éolien en mer qui a atteint, en moins de dix ans, une grande compétitivité en Europe du Nord, certaines installations allant même jusqu'au prix de marché de l'électricité (ce qui implique un niveau de soutien public nul). Cette rupture économique a été permise par l'augmentation de la puissance des turbines, passée en quelques années de 5-6 MW à 8-10 MW et bientôt au-delà, par l'effet d'échelle et de série ainsi que par les gains de productivité dans l'installation et la maintenance des parcs.

L'impact environnemental et paysager est limité et maîtrisé, l'ensemble des installations faisant l'objet d'une étude d'impact environnemental approfondie permettant de dimensionner au mieux les mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts potentiels pendant les phases de construction et d'exploitation jusqu'au démantèlement du parc. Le retour d'expérience à l'échelle européenne démontre que les impacts de l'éolien posé sur l'environnement sont limités, ce qui a conduit un certain nombre d'États à poursuivre leur politique volontariste pour le développement des EMR.

Des synergies se sont créées avec les autres activités maritimes, permettant de mutualiser des savoir-faire (autour de la résistance mécanique des structures, de la gestion de la corrosion, de la maîtrise des conditions d'installation et de maintenance en mer, etc.), des activités de la chaîne de valeur sur les moyens de production mais aussi les moyens transverses comme les navires (de pose, de maintenance, de services), et de créer des synergies avec les technologies de production d'énergie embarquée à partir d'EMR. Des évaluations en matière de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et des formations nécessaires au développement des EMR sont également réalisées en commun au sein de l'industrie française, en particulier maritime, en amont de la réalisation des parcs EMR.

La France possède un grand nombre d'atouts pour développer les énergies marines renouvelables. Avec le deuxième espace maritime au monde étendu sur 11 millions de km² et un territoire métropolitain réparti sur quatre façades maritimes, notre pays dispose d'un potentiel de développement de l'éolien en mer, posé comme flottant, parmi les plus importants d'Europe (à hauteur de plusieurs dizaines de milliers de MW) et du deuxième potentiel européen pour l'hydrolien, derrière le Royaume-Uni, avec un gisement techniquement exploitable

de plus de 5 000 MW réparti essentiellement entre le passage du Fromveur et le Raz-Blanchard. Les infrastructures portuaires françaises sont particulièrement adaptées au développement d'installations EMR : les principaux ports français – Brest, Cherbourg, Dunkerque, Le Havre, Marseille, Nantes-Saint-Nazaire, etc. –, bénéficient de positions géographiques stratégiques permettant de rayonner sur les grands marchés européens, Royaume-Uni, Allemagne, Belgique, Danemark notamment. Ils concentrent des compétences historiques fortes dans les domaines de l'énergie, de la mécanique, de la métallurgie ou encore de la logistique, et disposent de tirants d'eau suffisants pour accueillir les navires d'installation des parcs, ainsi que de vastes espaces disponibles pour l'implantation d'usines et de zones de stockage. Les zones propices au développement des EMR se situent à proximité de grands centres de consommation d'électricité et le réseau de transport électrique français, très maillé, est particulièrement bien adapté pour accueillir et distribuer l'énergie produite par les futures installations EMR.

Enfin, notre pays peut également compter sur une dynamique de R&D continue et dynamique depuis plus de dix ans, portée par des investissements privés et avec le soutien de l'État dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir opéré par l'ADEME ou l'Agence nationale de la recherche, et sur un tissu industriel compétent, issu des secteurs de l'énergie, du maritime et de l'*oil & gas*, engagé dans le développement de nouvelles solutions technologiques.

Ainsi, compte tenu du potentiel des EMR, leur développement pourrait permettre de contribuer à hauteur de 10 % de notre électricité en 2035, et à une part encore plus élevée ensuite. Pour l'éolien en mer, cet objectif correspond à une capacité installée de 14 000 MW, ce qui représente la consommation électrique de plus de 10 millions de foyers, sur une emprise en mer inférieure à 1 % de l'espace maritime français. Au niveau européen, on estime qu'à l'horizon 2050, les énergies marines renouvelables couvriront un quart de la production d'électricité renouvelable totale. Les EMR sont en outre une alternative durable aux moyens de productions fossiles utilisés dans les zones non interconnectées, comme les territoires d'outre-mer, en permettant d'exploiter une ressource locale, propre et économiquement abordable, par rapport aux conditions de prix des moyens de production en place.

État des lieux et perspectives sur le développement des EMR en France

Depuis plus de dix ans, la France a soutenu et accompagné le développement des énergies marines renouvelables.

Aujourd'hui, six parcs éoliens posés sont en développement, d'une puissance proche de 500 MW chacun, attribués en 2012 et 2014 à l'issue de deux appels d'offres organisés par l'État. Près de 400 éoliennes seront ainsi installées au large des côtes françaises, pour une capacité totale de près de 3 000 MW. Ces projets, situés au large de Dieppe-le-Tréport, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Saint-Brieuc, Saint-Nazaire et Yeu-Noirmoutier ont fait l'objet d'un grand nombre d'études (dont l'étude d'impact environnemental), de phases de concertation (dont un débat public) et, à l'issue de la phase d'instruction administrative, ont obtenu les autorisations nécessaires à leur construction. Certaines de ces autorisations ayant fait l'objet d'un processus de recours administratifs, durant parfois plusieurs années, les premières mises en service de ces parcs devraient avoir lieu à partir de 2021. En 2016, une nouvelle procédure de mise en concurrence a été engagée par l'État, afin de construire et exploiter un parc éolien en mer au large de Dunkerque : le lauréat de ce projet, d'une puissance d'environ 500 MW également, devrait être désigné au cours de l'année 2019.

La France accuse un certain retard par rapport à son programme initial de développement de l'éolien en mer, prévu par le Grenelle de la mer, qui envisageait la mise en service de 6 000 MW en 2020. Le marché mondial, très concentré en Europe, s'est développé bien plus rapidement depuis une dizaine d'années, la puissance installée ayant été multipliée par neuf depuis 2010 : alors que 2 000 MW étaient en fonctionnement en 2010, plus de 18 500 MW sont aujourd'hui connectés au réseau électrique européen, le Royaume-Uni, l'Allemagne et le Danemark totalisant 80 % du marché. Le parc éolien *offshore* bat régulièrement des records de croissance, comme en 2017, année qui a vu les capacités augmenter de plus de 25 % (+ 3 000 MW installés).

La France a également initié le développement de l'éolien en mer flottant, par un appel à projets de l'ADEME attribué en 2016, soutenant quatre fermes pilotes totalisant une aide de l'État de 1,2 milliards d'euros. Une ferme pilote permet de préfigurer une installation commerciale en testant plusieurs machines simultanément afin de valider les modèles technico-économiques de l'installation et du fonctionnement d'un parc dans des conditions semblables à celles de futures fermes de plus grande ampleur. Situées en Atlantique (Groix-Belle-Île) et en Méditerranée (Leucate-Barcarès, Gruissan, Fos-sur-Mer), ces fermes pilotes de trois à quatre éoliennes et 24 MW testeront toutes une technologie différente de flotteurs et d'ancrage et comptent, d'ici leur mise en service prévue entre 2021 et 2022, parmi les tous premiers projets d'éolien en mer flottant au monde. Si quelques autres projets de ce type ont été concrétisés en 2017 et 2018 (un projet au Japon,

un prototype au Portugal, une ferme en Écosse), la dynamique française lancée sur l'éolien flottant est unique au monde. D'ores et déjà, la France compte l'un des premiers démonstrateurs d'éolienne flottante en service : l'éolienne *Floatgen* (2 MW) installée depuis le printemps 2018 au large du Croisic sur le site d'essai SEM-REV (École centrale de Nantes) et qui injecte sa production sur le réseau électrique.



Floatgen, première éolienne flottante installée au large des côtes françaises.
© Ideol / ECN / V. Joncheray.

Concernant l'hydrolien océanique et fluvial, notre pays dispose en 2019 d'un site d'essai opérationnel dans l'estuaire de la Gironde installé à Bordeaux, d'une première ferme pilote fluviale installée sur le Rhône fin 2018, et de plusieurs machines marines immergées au large de la Bretagne : une machine raccordée à Ouessant, une turbine installée dans le golfe du Morbihan et une dernière machine installée sur le site d'essai marin de Paimpol-Bréhat.

Enfin, un démonstrateur d'énergie thermique des mers est en développement à La Réunion, tandis que plusieurs projets de SWAC sont à l'étude en Polynésie, en Martinique et à La Réunion.

Grâce à ces premiers projets, la France a également réussi à structurer une filière industrielle autour des énergies marines renouvelables qui représente d'ores-et-déjà plus de 2 600 emplois et un investissement cumulé de près de 1,3 milliard d'euros, bien qu'aucune installation ne soit encore mise en service. Les acteurs

et les territoires français ont considérablement investi, notamment dans l'adaptation des infrastructures portuaires pour lesquelles l'investissement de plusieurs régions littorales s'élève à plus de 600 millions d'euros. Un industriel mondial de premier plan a déjà construit à Saint-Nazaire une usine de production et d'assemblage de turbines et nacelles, une usine de production de pales d'éoliennes a été mise en service à Cherbourg et d'autres sont en construction, notamment au Havre, par le *leader* mondial de la fabrication d'éoliennes en mer qui s'est engagé à construire des usines destinées notamment au marché français. La fabrication des champs éoliens à court terme et des autres technologies EMR à moyen terme nécessite la mobilisation de nombreux savoir-faire et compétences, depuis la conception des éléments mécaniques et électroniques en amont, jusqu'à l'assemblage et l'installation en mer des structures en béton, acier et composites en bout de chaîne, en passant par la fabrication des différents composants des parcs – fondations, pales, mâts, génératrices, nacelles, postes électriques en mer, transformateurs, câbles de raccordement, etc. La maintenance et l'entretien des machines feront encore appel à d'autres corps de métiers, en particulier dans le secteur maritime. On établit à 15 000 le nombre d'emplois qui vont être créés avec la mise en place des premiers parcs éoliens en mer. Ces emplois se situent dans les régions littorales, mais aussi sur l'ensemble du territoire. Ces perspectives sont cohérentes avec le constat des pionniers européens qui dénombrent plus de 10 000 emplois directs au Royaume-Uni¹ et 15 000 en Allemagne². De son côté, le développement de l'éolien en mer flottant constitue un relai de croissance pour le secteur de l'éolien en mer posé, mais aussi pour d'autres filières, dont l'activité est en décroissance ou cyclique (*oil & gas*, activités industrielles portuaires, chantiers navals, etc.). L'éolien en mer flottant présente également l'avantage de réaliser, à terre ou dans les ports, l'ensemble des activités d'installation et d'assemblage qui doivent être menées sur site, en mer, pour la technologie posée, offrant ainsi un axe supplémentaire de réduction des coûts.

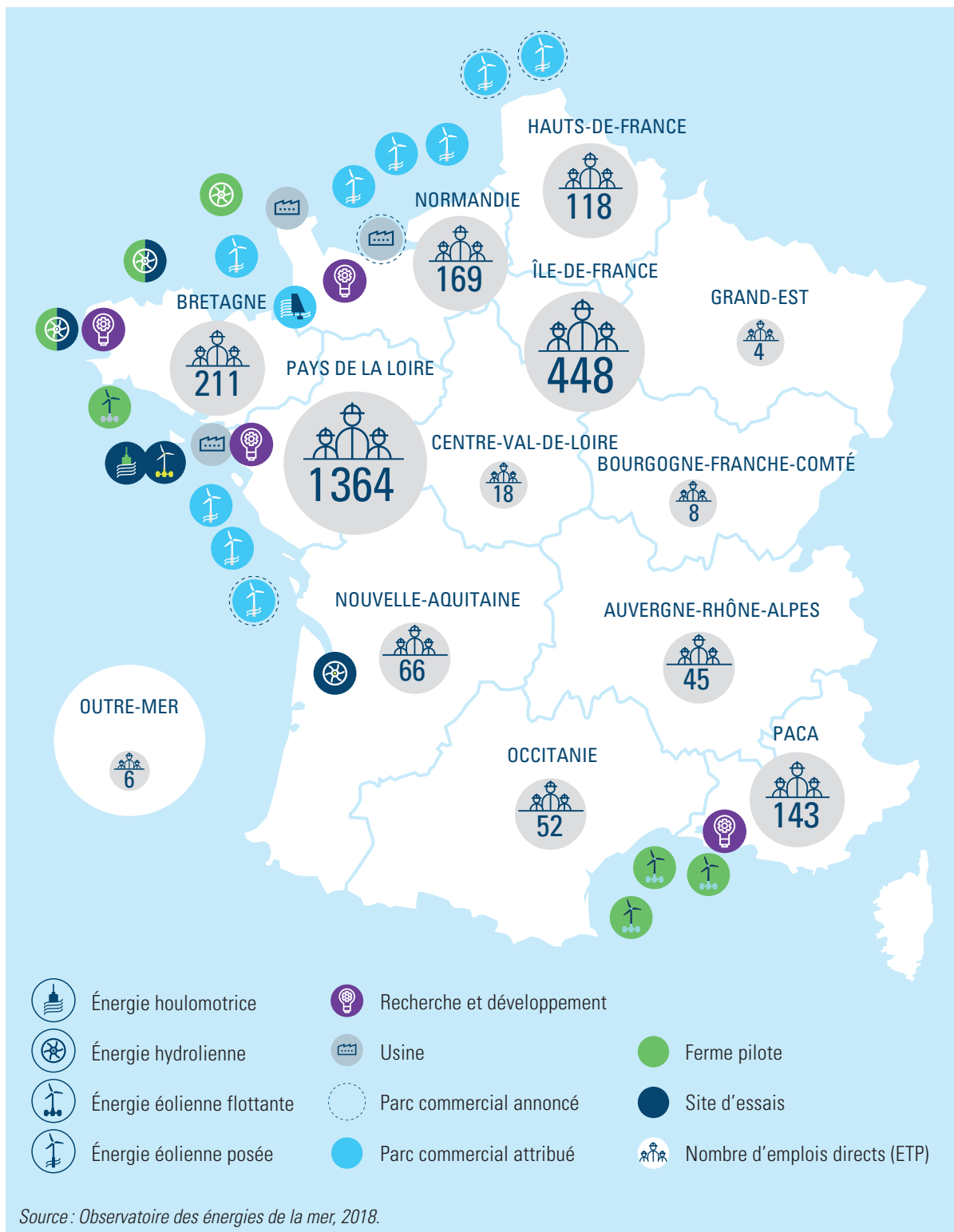
Les technologies et savoir-faire français s'exportent déjà: ingénierie, industrie, développement de projet, sous-ensembles stratégiques de la chaîne de valeur, de sorte que 80 % du chiffre d'affaires de la filière des EMR en 2018 ont été réalisés à l'export.

Les investissements génèrent de plus de la valeur dans l'économie réelle: les retombées économiques liées aux plans industriels (hors fiscalité directe liée à l'exploitation des parcs) sont, avec les seuls six premiers projets éoliens en mer, de l'ordre de 5 milliards d'euros pour l'État. Le développement des parcs

1. Office for National Statistics, <https://www.ons.gov.uk/economy/environmentalaccounts/bulletins/finalestimates/2017>
2. *Offshore Schafft Arbeit*, GWS, 2017.

s'accompagnera également de retombées fiscales, la taxe spéciale éolienne en mer bénéficiant notamment chaque année aux communes situées à proximité des parcs, aux comités des pêches maritimes et des élevages marins, à l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et aux organismes de secours et de sauvetage en mer.

Cartographie des emplois des énergies marines renouvelables en 2017



Quels défis pour poursuivre le développement des EMR?

La poursuite du développement des énergies marines renouvelables fera face à plusieurs défis dans les prochaines années.

Ces dernières années, la filière éolienne en mer européenne a connu des baisses de prix considérables, au point de dépasser beaucoup plus rapidement que prévu toutes les projections réalisées en matière de réduction des coûts : l'appel d'offres pour le parc de *Kriegers Flak* (Danemark) a été remporté par *Vattenfall* en novembre 2016 à un prix fixe de 49,90 €/MWh ; le consortium *Shell, Eneco, Van Oord, Diamond Generating Europe* a remporté l'appel d'offres pour le parc *Blauwwind II* aux Pays-Bas la même année à 54,5 €/MWh. De nombreux facteurs expliquent cette baisse des coûts constatée : l'industrialisation de la chaîne de fabrication, l'accroissement de la concurrence, l'augmentation de la puissance des turbines, l'optimisation des fondations sont des leviers importants de réduction des frais d'investissement. La mutualisation de la maintenance entre les parcs ou l'emploi de moyens maritimes adaptés peuvent permettre la réduction des coûts d'opération et de maintenance. Enfin, la planification de l'espace maritime, la simplification des procédures, l'encadrement des recours contentieux, associés à un rythme d'appels d'offres régulier et des volumes suffisants sont les conditions essentielles de la réduction des coûts, notamment en France. Désormais devenu une source d'énergie très compétitive, l'éolien en mer n'a pas pleinement réalisé tout son potentiel. Pour poursuivre encore la baisse des coûts, sécuriser les investissements consentis, réaliser leur potentiel d'emplois et développer de nouvelles offres (ex. moyens maritimes, installations *offshore*), la mise en place d'un rythme d'appels d'offres régulier, planifié et concerté entre les acteurs des territoires est désormais indispensable.

Le défi de l'éolien flottant est double : la technologie doit à court terme démontrer sa fiabilité (par la concrétisation des fermes pilotes) et passer très rapidement à une phase de commercialisation et d'industrialisation qui permettra d'engager la filière sur une courbe de réduction des coûts, convergente avec celle de l'éolien en mer posé, facilitée par un nombre important de composants communs et de retours d'expérience acquis avec la technologie posée. À condition de rester dans la course internationale, l'éolien flottant présente également une forte opportunité industrielle pour la France, car l'ensemble des services, produits, compétences et activités françaises associés à l'éolien flottant pourront être exportés, en Europe pour les flotteurs, partout dans le monde pour les activités d'ingénierie à haute valeur ajoutée. L'avance qui pourra être acquise sur la maîtrise des outils et méthodes

d'ingénierie spécifiques à l'éolien flottant (couplage entre flotteur et éolienne) sera différenciante pour capter une part importante du marché international.

La France est ainsi un pays *leader* concernant le nombre de brevets technologiques déposés et exploités pour l'hydrolien : une trentaine, juste derrière les États-Unis. Après la phase de prototypage en cours, de premières fermes pilotes devront être mises à l'eau, pour tester les technologies en conditions réelles de fonctionnement. Au-delà et à moyen terme, la phase commerciale déterminera la réduction des coûts de production en combinant plusieurs facteurs comme l'effet de série, afin de réaliser des économies d'échelle sur toute la chaîne d'approvisionnement, l'optimisation de la productivité des hydroliennes, grâce à des évolutions technologiques, comme des machines plus puissantes, et un meilleur rendement. Enfin, la diminution des coûts d'installation et d'exploitation, par l'optimisation des moyens et méthodes employés, permettra à l'hydrolien de réduire ses coûts de production.

Enfin, concernant l'houlomoteur et la technologie ETM, les défis sont avant tout techniques dans la mesure où la résistance de tels systèmes, quelles que soient les conditions de mer, constitue le point essentiel. Les expériences, essais ou tests doivent se poursuivre pendant de longues années et les perfectionnements sont incessants.

Les numéros publiés :

N°1 - *L'action de l'État en mer et la sécurité des espaces maritimes. La place de l'autorité judiciaire.* Octobre 2011

N°2 - *Planète Mer. Les richesses des océans.* Juillet 2012

N°3 - *Mer agitée. La maritimisation des tensions régionales.* Janvier 2013

N°4 - *L'histoire d'une révolution. La Marine depuis 1870.* Mars 2013

N°5 - *La Terre est bleue.* Novembre 2013

N°6 - *Les larmes de nos souverains. La pensée stratégique navale française...* Mai 2014

N°7 - *Union européenne: le défi maritime.* Décembre 2014

N°8 - *Abysses.* Juin 2015

N°9 - *Outre-mer.* Décembre 2015

N°10 - *Marines d'ailleurs.* Juin 2016

Hors série - *Ambition navale au XXI^e siècle.* Octobre 2016

N°11 - *Littoral.* Décembre 2016

Hors série - *La mer dans l'Histoire.* Mars 2017

N°12 - *Ruptures.* Juin 2017

N°13 - *Marins.* Décembre 2017

N°14 - *Liberté.* Juin 2018

Hors série - *La Marine dans la Grande Guerre.* Novembre 2018

N°15 - *Nourrir.* Janvier 2019

LES PUBLICATIONS DU CESM

Centre de réflexion stratégique, le CESM diffuse quatre publications régulières sur la stratégie navale et les principaux enjeux maritimes.

Études marines

Chaque semestre, des regards croisés sur un sujet maritime, de géopolitique, d'économie, d'histoire...

Cargo Marine

Des études apportant une connaissance approfondie d'une problématique navale ou maritime.

Brèves Marines

Diffusée par mail, cette publication offre chaque mois un point de vue à la fois concis et argumenté sur une thématique maritime d'actualité.

Les @mers du CESM

Cette revue de veille bihebdomadaire, également diffusée par mail, compile les dernières actualités concernant le domaine naval et maritime.

Ces publications sont disponibles en ligne à l'adresse suivante :

cesm.marine.defense.gouv.fr

Vous pouvez également vous abonner sur simple demande à :

cesm.editions.fct@intradef.gouv.fr

ÉNERGIES

« Réfléchissez au mouvement des vagues, au flux et reflux, au va-et-vient des marées. Qu'est-ce que l'océan ? Une énorme force perdue. Comme la terre est bête ! Ne pas employer l'océan ! »

Si Victor Hugo pestait dans *Quatre-vingt-treize* face à l'incapacité des hommes à exploiter l'énergie des océans, on peut gager que son regard ne serait pas le même de nos jours. La mer est désormais parsemée de plates-formes *offshore* allant puiser gaz et pétrole à plus de 3 000 mètres de profondeur... Sillonnée de méthaniers qui transportent d'un point à l'autre de la planète du gaz naturel liquéfié. Elle voit fleurir enfin des champs d'éoliennes sur les littoraux des continents européens, américains ou asiatiques.

Ressources, production, flux : si les océans sont un nouvel eldorado énergétique, ils deviennent également une source de tensions géopolitiques et géostratégiques nouvelles...



N°16 – Juin 2019
Centre d'études stratégiques de la Marine

