



© Chantiers de l'Atlantique

4



Les énergies marines renouvelables

Introduction

La volonté des États européens de s'engager dans une transition énergétique et d'améliorer leur indépendance énergétique renforce leur intérêt pour les EMR (énergies marines renouvelables). L'Europe est particulièrement avancée dans le déploiement des EMR, notamment pour les éoliennes en mer. L'éolien en mer posé est la technologie la plus mature parmi les différentes EMR. Certains pays européens comme le Danemark ou le Royaume-Uni développent leur deuxième génération de parcs éoliens posés en mer.

La France s'est engagée plus tard que les pays d'Europe du Nord dans le développement des parcs éoliens en mer. Le premier appel d'offre a été lancé en 2011 et le premier parc éolien en mer devrait être pleinement fonctionnel avant la fin 2022. Malgré ce retard, la France possède un fort potentiel dans le déploiement des EMR. Ses larges façades maritimes lui permettent de bénéficier d'un environnement marin propice au développement de différentes EMR comme l'énergie éolienne (posée ou flottante), l'énergie hydrolienne ou encore l'énergie houlomotrice.

La France affiche d'ambitieux objectifs pour le déploiement des de l'éolien en mer et, dans une moindre mesure des autres EMR dans les années à venir, les énergies éoliennes étant au cœur de la stratégie de transition énergétique française. Ces objectifs de déploiement s'accompagnent d'une forte ambition industrielle visant à développer les filières industrielles françaises et européennes à même de fournir les équipements nécessaires à la transition énergétique. Le déploiement de l'éolien, notamment de l'éolien posé en mer, connaît un important dynamisme économique. La France développe une véritable industrie des EMR, ce qui bénéficie fortement à certains territoires. Pour autant, plusieurs obstacles demeurent : la procédure de déploiement des EMR est plus longue et complexe que dans d'autres pays européens, l'acceptabilité sociale semble parfois plus difficile à construire, notamment du point de vue des usages en mer, ou d'une partie des populations littorales. De plus, certains territoires comme les territoires d'outre-mer sont confrontés à de nombreux freins géographiques et structurels qui limitent le développement local des EMR.

Plusieurs réformes récentes (la loi ASAP, la loi ESSOC et la loi APER) devraient permettre d'accélérer la procédure de construction des EMR en France, et d'améliorer leur planification. De plus la France possède d'importants centres de recherche spécialisés sur la question des EMR et d'un effort industriel dynamique permettant de développer de nombreux prototypes d'EMR (notamment pour l'énergie hydrolienne). Ces efforts pourraient à terme lui permettre de s'inscrire comme un pays majeur dans le secteur des EMR. Lors de son discours à Belfort le 10 février 2022¹, Emmanuel Macron a annoncé son souhait d'accélérer le développement des parcs éoliens en mer en métropole afin d'atteindre une puissance installée de 40 GW en 2050.



1 - La Banque des territoires *Relance du nucléaire et essor de l'éolien en mer et du solaire : les choix énergétiques d'Emmanuel Macron*, Anne LENORMAND, février 2022. <https://www.banquedesterritoires.fr/relance-du-nucleaire-et-essor-de-leolien-en-mer-et-du-solaire-les-choix-energetiques-demmanuel> [Consulté le 05/07/2022].

Partie 1

Les éoliennes en mer

I. État des lieux du déploiement de l'éolien en mer

1. Présentation

A. Le fonctionnement d'une éolienne

Les éoliennes fonctionnent à des vitesses de vent généralement comprises entre 10 et 90 km/h. Les pales de l'éolienne captent la force du vent et font tourner un axe (le rotor) de 10 à 25 tours par minute. L'énergie mécanique ainsi créée est transformée en énergie électrique par un générateur situé à l'intérieur de l'éolienne (dans la nacelle). L'électricité est ensuite convertie pour être injectée dans le réseau électrique par des câbles sous-marins et terrestres.

Les éoliennes en mer permettent de produire d'avantage d'énergie que les éoliennes terrestres. Cela s'explique en grande partie par le fait que les vents marins sont plus forts et plus réguliers, et que les éoliennes en mer sont plus grandes, donc plus puissantes, que les éoliennes terrestres². Chaque éolienne en mer est reliée par un câble sous-marin à la sous-station électrique du parc. La sous-station électrique en mer permet d'élever le niveau de tension de la production électrique des éoliennes pour réduire le nombre de câbles et les pertes. L'électricité est ensuite envoyée vers un poste électrique à terre par le biais des câbles (sous-marins puis terrestres) qui la relie au réseau de transport public d'électricité.

2 - Site internet de l'ADEME <https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/1418/guide-pratique-eolien-en-10-questions.pdf%3Fmodal%3Dfalse> [Consulté le 04/07/2022].

B. Les deux types d'éoliennes en mer

Les éoliennes posées

Les éoliennes en mer posées sont implantées sur des fondations³ directement fixées au plateau continental, à une profondeur maximum de 60 - 70 mètres⁴ environ. Elles sont plus puissantes que les éoliennes terrestres ; au vu des progrès technologiques rapides de la filière, les éoliennes en mer mises en service à horizon 2030 pourraient atteindre une puissance unitaire de 15 MW. Les progrès techniques permettent également d'envisager la pose de parcs éoliens à des profondeurs plus importantes. Actuellement l'éolien en mer posé représente la quasi-totalité des énergies marines renouvelables (EMR) en Europe et dans le monde⁵. La maturité de la technologie de l'éolien en mer posée a permis de fortement diminuer les coûts de production et les coûts d'achat de l'électricité produite. À titre d'illustration, le tarif de l'électricité du parc éolien en mer de Dunkerque a été fixé à 44 euros du MWh⁶ (hors raccordement et poste électrique en mer), ce qui correspondait à un niveau de tarif légèrement inférieur aux prix standards sur le marché de l'électricité en France⁷, avant crise de l'énergie (2021-2022).

Les éoliennes flottantes

Les éoliennes en mer flottantes reposent sur une structure flottante, reliée au fond marin par des lignes d'ancrages. Ces éoliennes peuvent être installées dans des zones plus profondes et situées plus au large de la côte que les éoliennes posées. Le développement de l'éolien flottant offre d'importantes perspectives de production d'énergétique pour la France, notamment dans le Golfe du Lion où les fonds marins sont trop profonds pour envisager le développement d'éoliennes posées.

Au niveau mondial 80 % du potentiel énergétique anticipé par l'éolien en mer, pourra être produit par des éoliennes flottantes. La CRE⁸ estime que le secteur de l'éolien en mer va connaître une croissance de 13 % par an jusqu'en 2030 en Europe (ce qui représenterait 20 GW de capacités additionnelles par an à l'horizon 2030)⁹.

3 - Il existe trois sortes de fondations : le monopieu (pylône unique enfoncé dans le plancher marin), le jacket (tourelle métallique), le gravitaire (embase en béton posé sur le sol sous-marin).

4 - Site internet de Fee <https://fee.asso.fr/eolien-en-mer/eolien-en-mer-pose/> [Consulté le 04/07/2022].

5 - *Ibid.*

6 - C'est quatre fois moins que le prix fixé lors des deux appels d'offre précédents. Source : Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

7 - Site internet Opera énergie <https://opera-energie.com/prix-electricite-prix-du-kwh/> [Consulté le 04/07/2022].

8 - La Commission de régulation de l'énergie est une autorité administrative indépendante française créée le 24 mars 2000, chargée de veiller au bon fonctionnement du marché de l'énergie et d'arbitrer les différends entre les utilisateurs et les divers exploitants, en suivant les objectifs de la politique énergétique.

9 - Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

Des progrès techniques sont encore nécessaires pour que l'éolien flottant atteigne sa pleine maturité, en particulier concernant l'optimisation du couplage flotteur/turbine et les processus d'industrialisation pour la fabrication des composants.

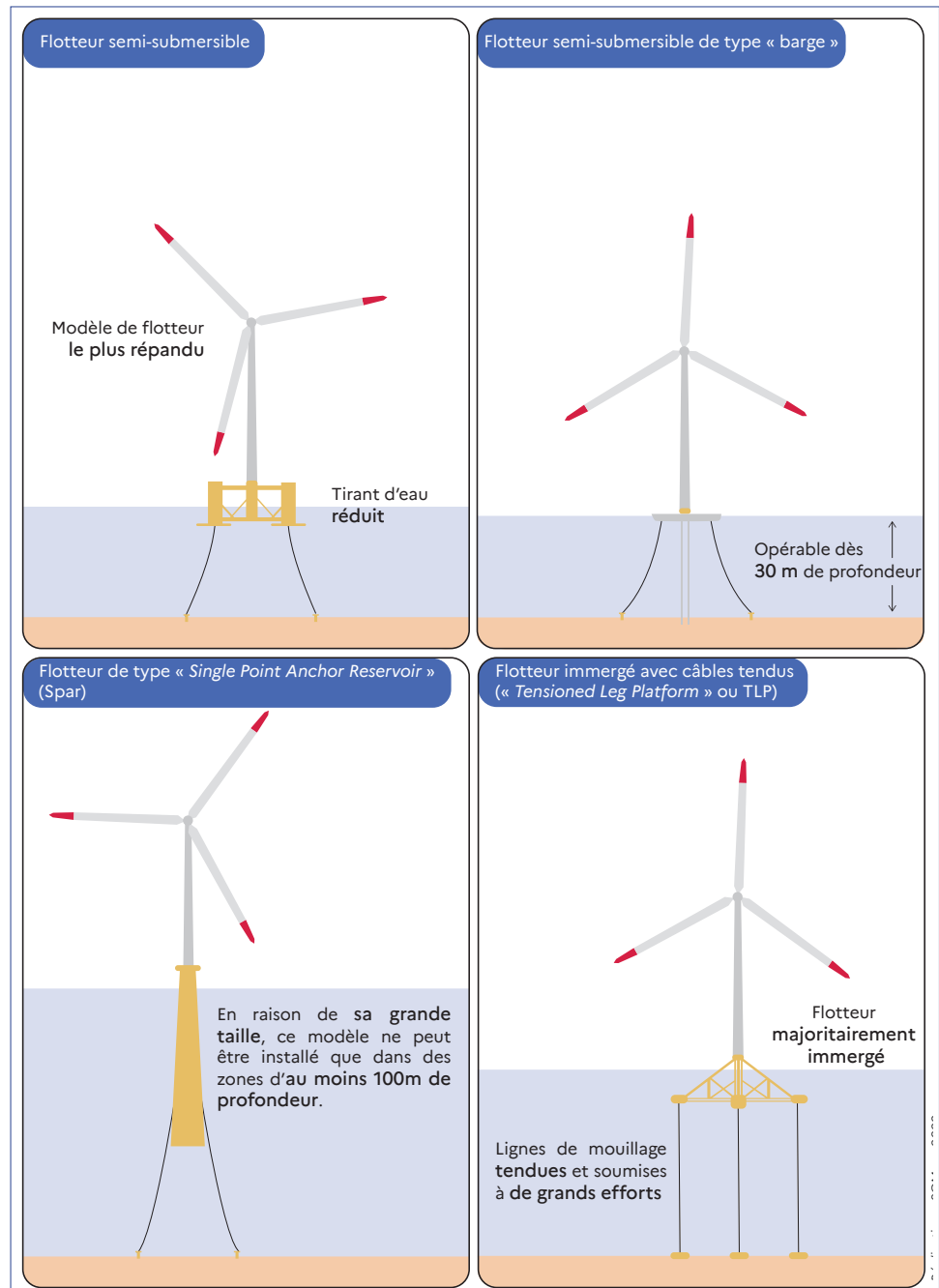


Figure n°1 : Différents types d'éoliennes flottantes en mer.

L'Écosse et le Portugal sont les premiers pays européens à avoir développé des parcs éoliens flottants :

- Le parc écossais (Hywind)¹⁰ a vu le jour en 2017, les éoliennes reposent sur un flotteur Spar, le parc possède une capacité de 30 MW ;
- Le parc portugais (WindFloat Atlantic) a été mis en service fin juillet 2020, les éoliennes reposent sur un flotteur semi-submersible, le parc possède une capacité de 25 MW.

2. Le déploiement de l'éolien en mer en Europe

L'Europe possède un important savoir-faire dans le déploiement de l'éolien en mer. Dans son rapport sur l'économie bleue, la Commission européenne décrit l'éolien en mer comme étant un secteur « installé »¹¹ de l'économie bleue européenne. Le premier parc éolien européen a été mis en service à Vindeby au Danemark en 1991. Le Danemark a également développé en 2000 le premier parc mondial de grande échelle¹². Le développement de l'éolien posé en mer a été particulièrement important dans le nord de l'Europe. Aujourd'hui l'Union européenne dispose de 25 GW de capacité éolienne en mer¹³, les parcs européens représentent 65 % de la capacité totale installée dans le monde¹⁴. Les principaux pays européens producteurs de cette énergie sont l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique, le Danemark et le Royaume-Uni¹⁵.

10 - Il s'agissait du premier parc éolien flottant en mer au monde.

11 - C'est-à-dire, un secteur avec une maturité industrielle. Source : La Commission Européenne, Direction Générale des Affaires Maritimes et de la Pêche, rapport *L'économie bleue européenne 2022* <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/156eecd-d7eb-11ec-a95f-01aa75ed71a1> [Consulté le 04/07/2022].

12 - Le parc éolien de Horns Rev.

13 - Site internet de la FEE <https://fee.asso.fr/actu/29-gw-deolien-en-mer-installes-en-europe-en-2020/> [Consulté le 04/07/2022].

14 - La Commission Européenne, Direction Générale des Affaires Maritimes et de la Pêche, rapport *L'économie bleue européenne 2022* <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/156eecd-d7eb-11ec-a95f-01aa75ed71a1> [Consulté le 04/07/2022].

15 - *Ibid.*

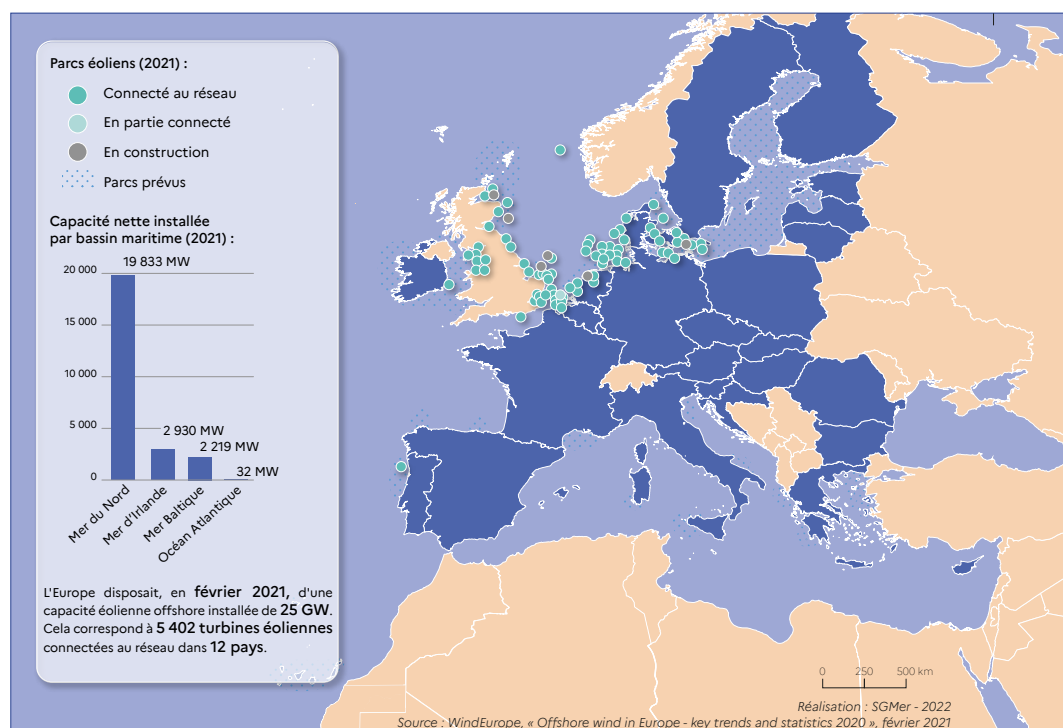


Figure n°2 : État des lieux des parcs éoliens en mer en Europe (hors France).

La taille moyenne des projets éoliens en mer a doublé en dix ans pour atteindre 621 MW en 2019¹⁶, et certains appels d'offres au Royaume-Uni dépassent aujourd'hui les 1 GW¹⁷ tout comme le projet Centre Manche 2 qui prévoit l'attribution d'un parc de 1,5 GW¹⁸.

La puissance unitaire moyenne des éoliennes en mer installées en Europe a également fortement augmenté pour atteindre 7,8 MW en 2019 (elle était de 0,45 MW en 1991, et de 3 MW en 2010)¹⁹. Les progrès industriels vont très certainement renforcer les puissances unitaires moyennes des éoliennes. À titre d'illustration, l'entreprise Siemens Gamesa a mis au point en 2021 une éolienne en mer pouvant atteindre une puissance de 14 MW²⁰ (avec à terme la possibilité d'atteindre 15 MW).

L'Europe fait partie des principaux acteurs pour le développement de l'éolien en mer. La Stratégie européenne relative aux EMR²¹ de novembre 2020 vise à renforcer cette position internationale. L'ambition de la Stratégie est de faire des EMR des sources d'énergie majeures pour l'Union Européenne d'ici 2050.

16 - Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

17 - *Ibid.*

18 - <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046174419>

19 - *Ibid.*

20 - Une seule rotation produit la consommation en électricité d'un foyer britannique durant deux jours. Source : Le Marin, *Le gigantisme s'impose dans l'éolien posé*, mai 2022. <https://lemarin.ouest-france.fr/secteurs-activites/energies-marines/43542-le-gigantisme-simpose-dans-leolien-pose> [Consulté le 04/07/2022].

21 - Site internet de la Commission Européenne, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_2096 [Consulté le 04/07/2022].

La Commission européenne fixe l'objectif de produire 300 GW d'électricité grâce à l'éolien en mer à l'horizon 2050 (avec une première étape de 60 GW en 2030). Cet objectif implique la mise en place d'une forte impulsion politique dans l'ensemble des États membres. En effet, en suivant le rythme actuel de croissance de l'éolien en mer la capacité déployée sera uniquement de 90 GW en 2050²².

3. Le déploiement de l'éolien en mer en France

La production d'électricité française repose sur un mix électrique comportant deux sources principales : les énergies renouvelables et le nucléaire²³. La part d'électricité produite par des centrales thermiques utilisant des combustibles fossiles (gaz, fioul, charbon) ne représente que 7,5 % de la production totale d'électricité²⁴. La part d'électricité produite par les énergies renouvelables augmente depuis plusieurs années²⁵ ; cette dynamique devrait s'amplifier avec le raccordement des premiers parcs éoliens en mer français à l'horizon 2022-2023.

Si le mix électrique de la France est peu carboné en raison de la forte part de production nucléaire, le mix énergétique est quant à lui encore très dépendant des énergies fossiles ; en particulier dans les transports et l'industrie. La réduction des émissions de gaz à effets de serre doit passer par l'électrification de ces usages et donc par l'augmentation de la production d'électricité décarbonée. L'éolien en mer est une composante importante du futur mix électrique français.

22 - Site internet des Energies de la Mer <https://www.energiesdelamer.eu/2020/11/09/emr-green-deal-objectif-60-gw-dici-2030-300-gw-pour-2050/> [Consulté le 04/07/2022].

23 - La part du nucléaire représentait 67,1% production électrique française en 2021. Source : Site internet de RTE <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/production-production-totale/#> [Consulté le 04/07/2022].

24 - *Ibid.*

25 - La part des énergies renouvelables représentait 23,4% de la production électrique française en 2021. Source : Site internet de RTE <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/production-production-totale/#> [Consulté le 04/07/2022].

Le mix énergétique des territoires d'outre-mer est très fortement carboné :

La consommation des territoires ultra-marins repose sur un mix électrique encore largement carboné. Mise à part la Guyane qui utilise massivement l'énergie hydraulique, les autres DROM produisent de l'énergie par l'intermédiaire de sources fossiles. C'est le cas de la Guadeloupe à 80%, de la Martinique à 88% et de Mayotte à 95%.

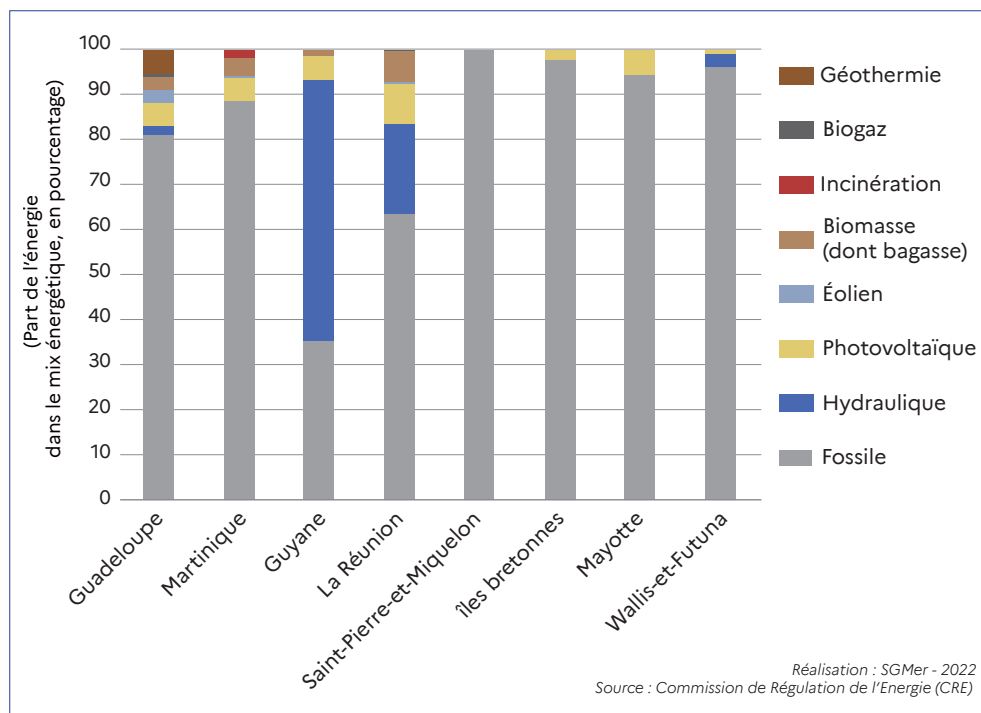


Figure n°2 : Mix électrique des territoires ultra-marins en 2018.

La Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte²⁶ a fixé l'objectif d'atteindre l'autonomie énergétique dans les régions ultramarines en 2030. Cet objectif implique d'accroître fortement et rapidement la part des énergies renouvelables dans le mix électrique de ces territoires.

Le premier appel d'offres (AO) français pour développer l'éolien en mer a été lancé en 2011. Depuis, sept autres appels d'offres ont été lancés, les différents projets s'étendant sur l'ensemble des façades maritimes de la métropole.

Les projets éoliens en mer sont actuellement à des stades de développement différents ; certains en sont au stade de la procédure de mise en concurrence (suite à un processus de participation du public) entre les différents développeurs éoliens candidats, d'autres sont en cours de développement, d'autres en travaux... Le premier parc éolien en mer français (celui de Saint-Nazaire) est entré intégralement en service en 2022 ; avec ses 80 éoliennes le

26 - Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385/>

parc fournit l'équivalent de 20 % de la consommation électrique de la Loire-Atlantique²⁷.

Les différents appels d'offres (AO) français pour le déploiement d'éoliennes en mer :

- **L'AO1** a été attribué en 2012 et concerne 4 projets distincts au large de Fécamp (Normandie), Courseulles-sur-Mer (Normandie), Saint-Brieuc (Bretagne) et Saint-Nazaire (Pays de la Loire). Ces projets représentent une puissance cumulée de 1,9 GW. Les différents parcs sont en cours de construction. Le parc de Saint-Nazaire est mis en service intégralement à la fin de l'année 2022. Les parcs de Saint-Brieuc et Fécamp seront mis en service à l'horizon 2023, et à horizon 2025 pour le parc de Courseulles-sur-Mer ;
- **L'AO2** a été attribué en 2014 et concerne deux parcs distincts de 500 MW chacun, au large de Yeu-Noirmoutier (Pays de la Loire) et Dieppe-Le Tréport (Normandie). Ces parcs sont en cours de développement. Leur mise en service est prévue à horizon 2025/2026 ;
- **L'AO3** a été attribué en 2019 sur le site de Dunkerque (Hauts de France). Le développeur prépare actuellement sa demande d'autorisations pour un parc de 600 MW environ. La date prévisionnelle de mise en service du parc est fixée à 2027 ;
- **L'AO4** a été lancé en 2020 en Centre Manche (Normandie). La procédure de mise en concurrence est en cours et un lauréat devrait être désigné début 2023. Le parc aura une puissance de 1 GW environ et la date prévisionnelle de mise en service du parc est fixée à l'horizon 2030 ;
- **L'AO5** a été lancé en 2022 au sud de la Bretagne. La procédure de mise en concurrence est en cours et le lauréat devrait être désigné en 2023. Il s'agit du premier parc commercial éolien flottant en France. Le parc aura une puissance de 250 MW et la date prévisionnelle de mise en service du parc est fixée à l'horizon 2030. Un appel d'offres pour une extension de 500 MW à proximité de ce premier parc au sud de la Bretagne est également prévu ;
- **L'AO6** a été lancé en 2022 en Méditerranée (Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur). Il porte sur deux projets de parc de 250 MW chacun. La procédure de mise en concurrence est en cours. La date prévisionnelle de mise en service des parcs est fixée à l'horizon 2030. Un appel d'offres pour deux extensions de 500 MW à proximité de ces deux premiers parcs en Méditerranée est également prévu ;
- **L'AO7** a été lancé en 2022 pour un parc de 1 GW environ en Sud-Atlantique, au large d'Oléron (Nouvelle-Aquitaine). La procédure de mise en concurrence est en cours. La date prévisionnelle de mise en service du parc est fixée à l'horizon 2030 ;
- **L'AO8** concerne un projet de parc éolien en mer de 1,5 GW à proximité du projet de l'AO4 situé en centre Manche (Normandie)²⁸. Cet appel d'offres a été lancé en 2022. La mise en service de ce parc est prévu à horizon 2031.

27 - Site internet du parc éolien de Saint-Nazaire <https://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr/#quote-carousel> [Consulté le 05/07/2022].

28 - <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046174419>

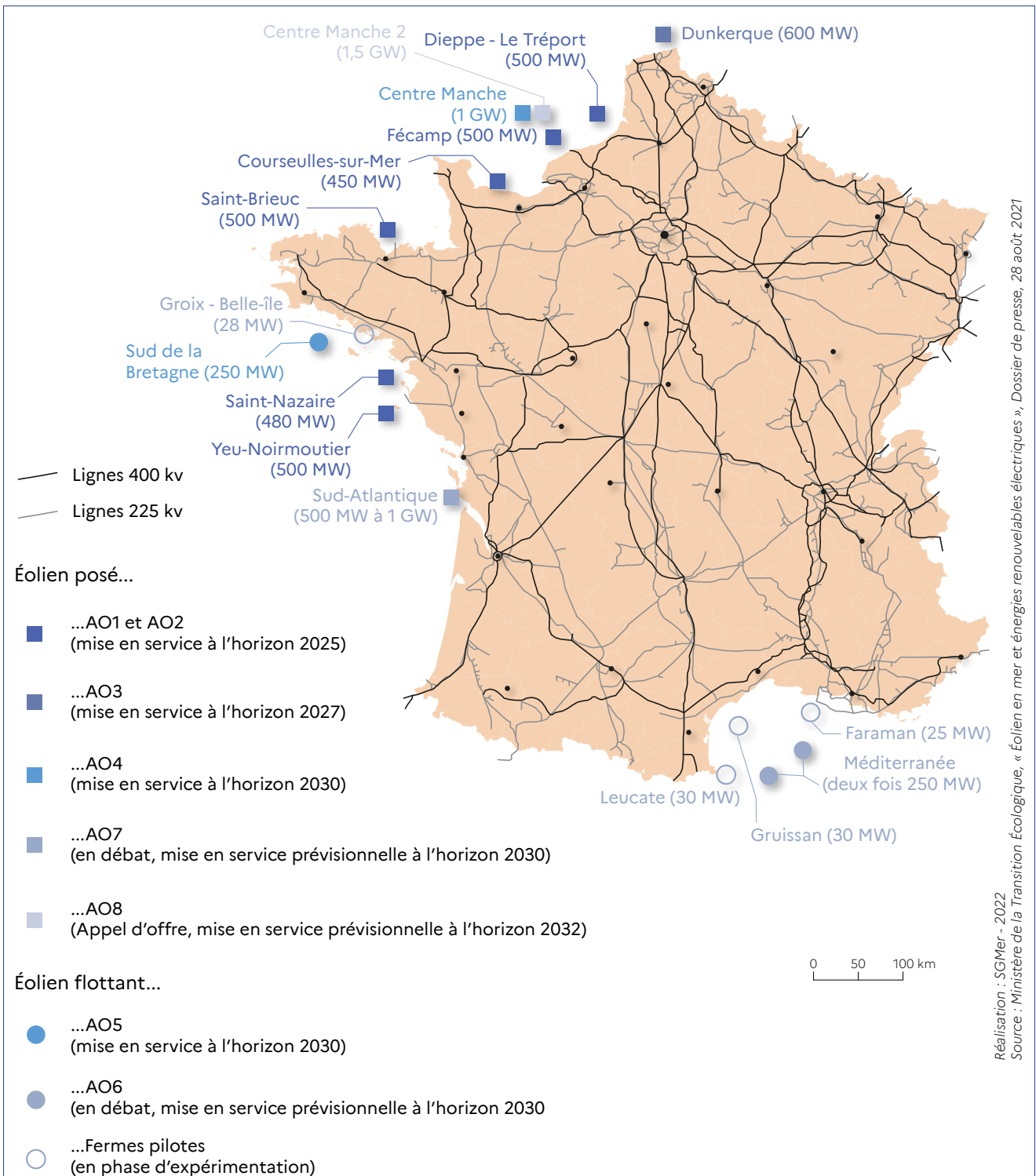


Figure n°3 : État des lieux des projets éoliens en mer en métropole française.

Parallèlement à ces appels d'offres, l'ADEME²⁹ a lancé en 2015 un appel à projets afin de développer des fermes pilotes éoliennes flottantes³⁰. Trois projets sont en cours de développement au large de Leucate-Le Barcarès (Occitanie), Gruissan (Occitanie), et Faraman-Port-Saint-Louis-du-Rhône (Provence-Alpes-Côte d'Azur), chaque ferme aura une puissance totale comprise entre 25 MW et 30 MW. Une fois que les quatre seront en service, à l'horizon 2024, elles représenteront la moitié des fermes pilotes en service dans le monde.

La France possède une grande surface maritime et une forte exposition aux vents³¹ : ces deux caractéristiques lui octroient un fort potentiel éolien, le deuxième d'Europe après le Royaume-Uni. Lors de son discours à Belfort en février 2022³², Emmanuel Macron a annoncé son souhait d'accélérer le développement des parcs éoliens en mer en métropole à hauteur de 40 GW installés d'ici 2050. Pour atteindre cet objectif une cinquantaine de parcs éolien en mer devront être développés.

29 - L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie est un établissement public à caractères industriel et commercial (EPIC) créé en 1991. L'ADEME anime, coordonne, facilite ou réalise des opérations de protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie.

30 - Les fermes ont été financé dans le cadre du PIA (le Programme d'investissements d'avenir destiné à financer des investissements prometteurs et innovants sur l'ensemble du territoire et dans des secteurs stratégiques pour la France comme la transition écologique, la compétitivité des entreprises, l'enseignement supérieur et la recherche, la souveraineté industrielle, l'économie numérique...). Source : site internet de l'ADEME <https://infos.ademe.fr/magazine-avril-2022/terrain-feu-vert-pour-la-ferme-deoliennes-flottantes/> [Consulté le 05/07/2022].

31 - La France possède le deuxième gisement de vent marin en Europe derrière le Royaume-Uni et devant l'Allemagne. Source : Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

32 - La Banque des territoires *Relance du nucléaire et essor de l'éolien en mer et du solaire : les choix énergétiques d'Emmanuel Macron*, Anne LENORMAND, février 2022. <https://www.banquedesterritoires.fr/relance-du-nucleaire-et-essor-de-leolien-en-mer-et-du-solaire-les-choix-energetiques-demmanuel/> [Consulté le 05/07/2022].

II. Les enjeux juridiques

Le développement de l'éolien en mer est au croisement de deux stratégies nationales : la planification énergétique et la planification spatiale.

1. Le déploiement de l'éolien en mer est au croisement d'une double planification

A. La planification spatiale maritime

La planification spatiale maritime (PSM) permet d'organiser la répartition dans l'espace et dans le temps des différentes activités en mer. La PSM est un outil indispensable au bon déploiement de l'éolien en mer (et de l'ensemble des EMR), elle permet à la fois de donner de la visibilité aux acteurs des EMR pour poursuivre leurs efforts industriels engagés dans les territoires et de favoriser la conciliation des différents usages de l'espace maritime.

Au niveau européen la PSM est portée par la Directive Cadre pour la Planification de l'Espace Maritime (DCPEM)³³ adoptée par l'Union Européenne le 23 juillet 2014. Cette Directive établit un cadre pour la planification des activités maritimes et la gestion intégrée des zones côtières de l'espace européen afin d'assurer une coordination des différentes activités humaines et usages en mer, pour atteindre des objectifs d'ordre écologique, économique et social. Les États membres avaient jusqu'au 31 mars 2021³⁴ pour transposer la DCPEM dans leur droit interne et de disposer d'un document de Planification Spatiale Maritime.

La France met en œuvre sa planification spatiale maritime par le biais de la Stratégie Nationale Mer et Littoral (SNML) et des Documents stratégiques de façades (DSF).

33 - DIRECTIVE 2014/89/UE du Parlement européen et du Conseil du 23 juillet 2014 établissant un cadre pour la planification de l'espace maritime. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0089&rid=1>

34 - Article 15 de la Directive Cadre pour la Planification de l'Espace Maritime.

La SNML et les DSF

Pour fixer son ambition maritime sur le long terme en tenant compte des multiples dimensions de son espace maritime et littoral, la France s'est dotée, en février 2017, d'une stratégie nationale pour la mer et le littoral (SNML)³⁵. Cette stratégie a été élaborée selon un processus de concertation entre l'État, les collectivités territoriales, les acteurs scientifiques, économiques et associatifs concernés.

La SNML est déclinée localement au sein de documents stratégiques de façade (DSF). Quatre DSF³⁶ sont élaborés par l'État en concertation avec les acteurs maritimes et littoraux réunis dans les Conseils Maritimes de Façade (CMF)³⁷. Les DSF viennent préciser les conditions de mise en œuvre de la stratégie nationale, en fonction des spécificités locales. Chaque document a pour objectif de définir une stratégie de développement durable de l'économie maritime et une planification des espaces maritimes et littoraux selon des « zones de vocation »³⁸.

Les zones de vocation pour le développement des EMR évitent autant que possible les conflits d'usages trop importants avec les autres activités maritimes³⁹ : les cheneaux d'accès aux ports, les zones d'essais de lancement de missiles, les zones de pêche importantes sont généralement évitées. Les critères environnementaux sont également étudiés (sont notamment pris en compte la bathymétrie, le potentiel de vent, la proximité de zones marines protégées, l'existence des couloirs migratoires des oiseaux).

Le régime d'opposabilité juridique du document stratégique de façade est défini selon l'article L.219-4 du code de l'environnement : « en mer, jusqu'aux limites de la juridiction nationale, les plans, programmes, schémas et projets de travaux, d'ouvrages, d'aménagements soumis à étude d'impact, ainsi que les actes administratifs pris pour la gestion de l'espace marin, doivent être compatibles ou rendus compatibles avec les objectifs et dispositions du document stratégique de façade », il en est de même pour « les plans et programmes terrestres ayant une influence en mer ».

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 8 août 2016⁴⁰ prévoit qu'après l'approbation du document stratégique de façade, la mise en compatibilité ou la prise en compte se fasse à l'occasion de la révision des documents concernés ou en tout état de cause sous trois ans.

La SNML est révisée tous les six ans. Une version actualisée de la SNML est actuellement en cours de rédaction par les services de l'État.

35 - Site internet du Ministère de la Mer <https://www.mer.gouv.fr/strategie-nationale-pour-la-mer-et-le-littoral> [Consulté le 06/07/2022].

36 - Il existe un DSF pour chaque façade maritime :
 - Le DSF pour la façade maritime Manche Est-Mer du Nord.
 - Le DSF pour la façade maritime Nord Atlantique-Manche Ouest.
 - Le DSF pour la façade maritime Sud Atlantique.
 - Le DSF pour la façade maritime Méditerranée.

37 - Le conseil maritime de façade est une instance de concertation en charge de l'utilisation, l'aménagement, la protection et la mise en valeur des littoraux et de la mer. Il est composé de représentants de l'État, des collectivités territoriales, de leurs établissements publics, des professionnels du littoral et de la mer, de la société civile et des associations de protection de l'environnement. Le conseil maritime de façade émet des recommandations sur tous les sujets relevant de sa compétence et notamment sur la cohérence de l'affectation des espaces en mer et sur le littoral. Il identifie les secteurs naturels à protéger en raison de la richesse de la faune et de la flore, les secteurs propices au développement des activités économiques, y compris l'aquaculture, et les secteurs pouvant faire l'objet d'une affectation future.

38 - Les zones de vocation permettent de répartir les activités sur l'espace maritime. Plusieurs activités maritimes peuvent être autorisées au sein d'une même zone de vocation.

39 - Les zones de vocation permettent de répartir les activités sur l'espace maritime. Plusieurs activités maritimes peuvent être autorisées au sein d'une même zone de vocation.

40 - LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000033016237/>.

B. La planification énergétique

La planification énergétique permet d'anticiper les besoins et les orientations stratégiques à venir au niveau énergétique. Depuis plusieurs années la planification énergétique européenne comporte un important objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement des énergies renouvelables.

Différents textes européens comme la feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050 (2011)⁴¹, le cadre pour le climat et l'énergie à l'horizon 2030 (2014)⁴², la feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 (2018)⁴³, ou encore la loi européenne sur le climat (2021)⁴⁴, vont dans ce sens.

La France s'inscrit également dans cette dynamique avec la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) de 2015⁴⁵ qui vise à renforcer l'indépendance énergétique de la France tout en réduisant ses émissions de gaz à effets de serre et en accélérant l'orientation vers une croissance verte⁴⁶. La LTECV se décline au travers de trois stratégies différentes⁴⁷, dont la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC).

La SNBC constitue la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique et favoriser la transition vers une économie bas-carbone dans tous les secteurs d'activités. La Stratégie définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs à court et moyen terme. Cette stratégie est révisée tous les cinq ans⁴⁸.

41 - L'objectif de la feuille de route était de réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'Europe de 80 à 95% d'ici 2050 (l'année de base étant 1990). Source : site internet de la Commission européenne, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_11_1543 [Consulté le 06/07/2022].

42 - L'objectif était de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 40% (l'année de base était 1990) à l'horizon 2030 et de porter la part des énergies renouvelables à au moins 27% de la production énergétique européenne. Source : site du Conseil Européen <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/> [Consulté le 06/07/2022].

43 - Cette feuille de route fixe la décarbonation totale de l'approvisionnement énergétique européen au rang de priorité. Elle vise également à moderniser l'industrie européenne, pour la rendre compatible avec une économie respectueuse de l'environnement. Source : Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=ET>

44 - La loi européenne sur le climat inscrit dans la législation l'objectif de réduction des émissions à l'horizon 2030. Source : site du Conseil Européen <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/> [Consulté le 06/07/2022].

45 - LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385/>

46 - La loi fixe l'objectif que la production électrique française soit à 40% issue d'énergies renouvelables à l'horizon 2030.

47 - La Stratégie nationale pour la bioéconomie, la Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse, et la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC).

48 - Tous les cinq ans, la stratégie nationale bas-carbone fait l'objet d'un cycle complet de révision. La révision de la stratégie permet notamment l'adaptation du scénario de référence aux évolutions, notamment des connaissances (techniques, économiques, sociales et géopolitiques). Adoptée pour la première fois en 2015, la SNBC a été révisée en 2018-2019, en visant d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (ambition rehaussée par rapport à la première SNBC qui visait le facteur 4, soit une réduction de 75% de ses émissions GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990). Ce projet de SNBC révisée a fait l'objet d'une consultation du public du 20 janvier au 19 février 2020. La nouvelle version de la SNBC et les budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 ont été adoptés par décret le 21 avril 2020.

Les grandes orientations de la politique énergétique de la France fixées par la loi de programmation sur l'énergie et le climat du 8 novembre 2019 se déclinent de manière opérationnelle par la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)⁴⁹. La PPE est l'outil de pilotage de la politique énergétique de la France, elle détaille les priorités assignées au secteur de l'énergie pour les dix années à venir⁵⁰. Elle fixe le cap à suivre pour toutes les filières énergétiques françaises afin de constituer un futur mix électrique plus durable et plus écologique. La PPE fait l'objet d'une évaluation environnementale stratégique (EES).

La PPE fixe plusieurs grands objectifs :

- Sécuriser le système énergétique dans son fonctionnement et ses approvisionnements ;
- Améliorer l'efficacité énergétique et baisser la consommation d'énergie primaire, en particulier l'énergie fossile ;
- Développer l'exploitation des énergies renouvelables et de récupération ;
- Soutenir la stratégie de développement de la mobilité propre ;
- Préserver le pouvoir d'achat des consommateurs et de la compétitivité des prix de l'énergie (en particulier pour les entreprises exposées à la concurrence internationale) ;
- Évaluer les besoins de compétences professionnelles dans le domaine de l'énergie et à l'adaptation des formations à ces besoins.

Il existe une PPE pour la métropole continentale, et une PPE pour chaque zones françaises non-interconnectées⁵¹.

La PEE de métropole continentale s'inscrit dans la continuité de la Stratégie Nationale Bas-Carbone, et doit être compatible avec ses grandes orientations. La PEE 3 (2024-2033) sera la déclinaison de la loi de programmation sur l'énergie et le climat (LPEC)⁵² qui sera adoptée au plus tard le 1^{er} juillet 2023, laquelle fixera les objectifs en termes de mix énergétique pour deux périodes successives de 5 ans.

Le développement des énergies marines renouvelables, et plus précisément de l'éolien en mer est fortement soutenu par la SNBC et la PPE de métropole continentale.

L'ambition portée par l'actuelle PPE de métropole continentale est de disposer d'une capacité installée de 2,4GW d'éolien en mer d'ici 2023⁵³, 6,2 GW d'ici 2028⁵⁴. La prochaine révision de la PPE pourra prévoir des objectifs d'éolien en mer par façade maritime, en déclinaison territoriale de l'objectif inscrit dans la

49 - La PPE a été instituée par l'article 176 de la LTECV de 2015, mais a été mise en œuvre en 2018.

50 - La PPE porte sur deux périodes de 5 ans, 2019-2023 et 2023-2028, avec des objectifs intermédiaires.

51 - Il existe une PPE pour la Corse, une PPE pour la Guyane, une PPE pour La Réunion, une PPE pour la Guadeloupe, une PPE pour Mayotte, une PPE pour la Martinique, une PPE pour Wallis et Futuna.

52 - La loi de programmation sur l'énergie et le climat fait partie de la loi relative à l'énergie et au climat adoptée en novembre 2019. La loi de programmation n'a pas encore été mise en œuvre mais elle doit fixer les grands objectifs de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). La loi de programmation sur l'énergie et le climat, la PPE et la SNBC formeront ainsi la stratégie française pour l'énergie et le climat.

53 - La PPE de métropole continentale 2019-2023/ 2023-2018 <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

54 - *Ibid.*

LPEC. La PPE souhaite également faire de la France un leader mondial dans l'éolien flottant⁵⁵.

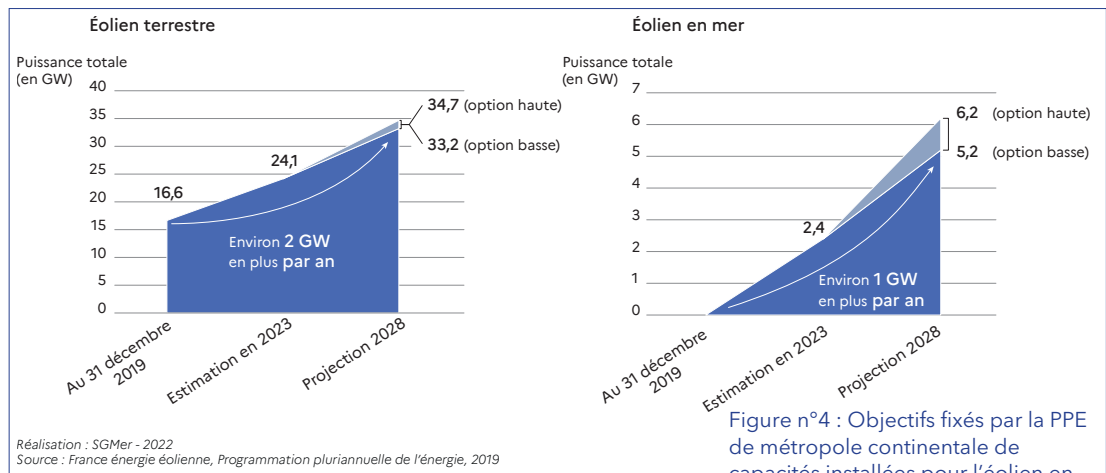


Figure n°4 : Objectifs fixés par la PPE de métropole continentale de capacités installées pour l'éolien en mer et projection à 2050

La loi Climat et résilience du 22 août 2021⁵⁶ développe une conception plus fine et territorialisée de la programmation énergétique, cette loi introduit le fait que les objectifs de développement des énergies renouvelables de la PPE de métropole devront être déclinés en sous-objectifs régionaux⁵⁷ et pris en compte dans les Sradet⁵⁸. Les objectifs concernant l'éolien en mer devront être déclinés en sous-objectifs par façade maritime⁵⁹, cette mesure de planification de l'éolien en mer par façade maritime avait notamment été portée par le CIMer 2021⁶⁰.

55 - *Ibid.*

56 - LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

57 - Article 83 de la loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets.

58 - Les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires.

59 - Article 83 de la loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets

60 - Site internet du Gouvernement, dossier de presse du CIMer 2021 . https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/01/2021-01-22_dossier-presse-cimer.pdf [Consulté le 07/07/2022].

2. La procédure de déploiement d'un parc éolien en mer pas à pas

A. L'identification de zones préférentielles pour l'implantation d'éoliennes en mer

Les zones de vocation identifiées dans les DSF⁶¹ et les objectifs de la PPE orientent le choix des zones présélectionnées pour l'implantation d'un futur parc éolien. Des études bibliographiques sont menées afin de faire le bilan des connaissances scientifiques⁶² concernant la zone choisie. Ces études bibliographiques sont complétées par des campagnes de mesures en mer menées par l'Etat et RTE⁶³ sur les zones retenues à l'issue des débats publics afin de dresser l'état initial de l'environnement.

Sur la base de ces études, l'État saisit la Commission nationale du débat public (CNDP). Cette mesure, mise en place par la loi ESSOC de 2018⁶⁴, vise à renforcer l'acceptabilité sociale des projets d'implantation de l'éolien en mer⁶⁵. En effet, la réussite d'un projet éolien en mer repose en grande partie sur le recueil des attentes du public dans une approche systémique (localisation du parc, conditions de raccordement, maintenance et exploitation du parc, paysage, environnement, économie...)⁶⁶, pour intégrer le plus précocement possible l'ensemble des enjeux. La CNDP nomme une Commission particulière de débat public (CPDP) qui est chargée de l'organisation du débat public. Le débat public doit permettre « de débattre de l'opportunité, des objectifs et des caractéristiques principales du projet »⁶⁷.

Afin d'éclairer la décision des participants, plusieurs documents sont présentés durant le débat public :

- Un dossier d'information (Dossier du Maître d'Ouvrage) comportant notamment des fiches thématiques pour approfondir certains sujets ;

61 - Les zones de vocation identifiées dans le DSF, pour lesquelles les usages à privilégier comprennent, la production d'électricité par des parcs éoliens en mer.

62 - Le recensement des connaissances scientifiques disponibles touche des domaines d'études très larges. Il s'agit à la fois de données environnementales (l'environnement terrestre, les connaissances météorologiques, les connaissances concernant la pêche, les connaissances concernant les caractéristiques physiques de la zone) que des données socio-économiques.

63 - RTE (Réseau de transport d'électricité) a été créé en 2000. Il est le gestionnaire de réseau de transport français responsable du réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine.

64 - Article 58, LOI n° 2018-727 du 10 août 2018 pour un État au service d'une société de confiance. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037307624/>.

65 - Avant la loi ESSOC les projets de parcs éoliens étaient soumis au débat public ou à la concertation une fois la localisation et les caractéristiques définies. De fait, l'intérêt même du débat public était souvent remis en question puisque la majorité des décisions techniques avaient déjà été prises.

66 - Site internet Eoliennes en mer. https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche20_WEB_0.pdf [Consulté le 07/07/2022].

67 - Article L121-1 du code de l'environnement.

- Des rapports sur des enjeux spécifiques (environnement, pêche, trafic...) réalisés par des bureaux d'études experts et/ou des établissements publics de l'Etat (Ifremer, OFB, Cerema...).

L'État attend du débat public qu'il l'éclaire sur les caractéristiques globales du projet des futurs parcs éoliens, en particulier sur la localisation des zones préférentielles pour leur implantation. Le débat public vise à valider ou non le choix des zones choisies, si ces dernières ne semblent pas propices et adaptées au déploiement d'un parc éolien en mer, alors le débat doit permettre de proposer une ou plusieurs zones alternatives.

La loi ASAP et la possible mutualisation des débats publics⁶⁸ :

La loi d'accélération et simplification de l'action publique (ASAP)⁶⁹ permet d'organiser les débats publics sur l'éolien en mer à l'échelle d'une façade maritime. Autrement dit, ces débats pourront porter sur plusieurs projets éoliens en mer sur une même façade maritime. Cette disposition ouvre la voie à une meilleure planification du développement de l'éolien en mer, avec la possibilité de donner une visibilité plus importante au public, en faisant porter un débat sur le développement de plusieurs parcs au sein d'une même façade sur plusieurs années. Les résultats du débat public sont valables pendant sept ans et viennent alimenter les différentes procédures de mise en concurrence lancées dans cette période.

À l'issue du débat public, un compte rendu doit être publié par la CPDP. La CNDP produit quant à elle un bilan du débat dans les deux mois suivant sa clôture. Suite à la publication de ces documents, les services de l'État ont trois mois pour se prononcer sur la suite du projet, si le projet est maintenu de nouvelles étapes s'amorcent.

Malgré la fin du débat public, le public continue d'être associée au projet, la CNDP désigne un garant chargé de veiller à l'association et à l'information du public jusqu'à l'enquête publique.

B. L'élaboration du projet et l'appel d'offres

Les études techniques

Si le projet est maintenu à l'issue du débat public, des études techniques (vent, houle, courant, bathymétrie, sols...) et des études environnementales (état initial de l'environnement) des zones choisies sont réalisées par l'État et RTE.

68 - Site internet du débat public pour le projet éolien en mer en Sud Atlantique. https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-09/2021-09_Eolien_mer_Sud_Atlantique_DMO_Fiche17.pdf [Consulté le 07/07/2022].

69 - LOI n° 2020-1525 du 7 décembre 2020 d'accélération et de simplification de l'action publique. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042619877>

L'appel d'offres et la mise en concurrence

En parallèle les services de l'État et la CRE lancent la procédure d'appel d'offres et de mise en concurrence, ce moment est constitué de plusieurs étapes⁷⁰ :

Étape 1 : Les industriels intéressés par le projet soumettent leur candidature à la CRE, cette dernière examine les capacités techniques et financières des candidats et effectue une présélection des candidats.

Étape 2 : Chacun des candidats retenus participe à un dialogue concurrentiel avec la DGEC⁷¹ : des contributions écrites ou des réunions sont organisées pour discuter de certains paramètres qui figureront dans le cahier des charges et des spécificités du projet. L'objectif de cet échange est de définir un document le plus clair possible, notamment concernant la répartition des risques entre l'État, le Producteur et RTE, et de limiter le soutien public financier qui sera apporté.

Étape 3 : Suite à ce dialogue la DGEC finalise le cahier des charges, qui doit être vu par la CRE. Dans la mesure où le complément de rémunération prévu constitue une aide d'État au sens de la réglementation européenne, la Commission européenne est saisie pour approbation.

Étape 4 : Une fois l'accord de la Commission européenne obtenu, le cahier des charges est fourni aux candidats. Les études techniques et environnementales menées par les services de l'État et par RTE sont également remises aux candidats, dans le cadre de la procédure de mise en concurrence, afin de leur permettre de proposer une offre la plus adaptée possible aux caractéristiques de la zone et de limiter au maximum les effets du projet sur l'environnement. Les candidats soumettent leur offre à l'État. Dans son offre le candidat doit répondre au cahier des charges et s'engager sur un tarif de référence (le prix du MWh) de l'électricité produite par les parcs éoliens.

Étape 5 : La CRE analyse les différentes candidatures et propose au ministre chargé de l'énergie un candidat à désigner comme lauréat.

L'assouplissement de l'ordre des différentes étapes

L'article 55 de la loi n° 2020-1525 du 7 décembre 2020 d'accélération et de simplification de l'action publique (ASAP), qui a modifié l'article L121-8-1 du code de l'environnement, permet désormais de commencer les phases administratives de la procédure de mise en concurrence (la pré-sélection sur la base de leurs capacités techniques et financières) en parallèle du débat public. Il s'agit principalement de la phase de pré-sélection des candidats sur la base de leurs capacités techniques et financières.

70 - Projet d'éoliennes flottantes au sud de la Bretagne, fiche 21 : le débat public, juillet 2020. <https://eolbretsud.debatpublic.fr/wp-content/uploads/suites-contribuer.pdf> [Consulté le 07/07/2022].

71 - Direction générale de l'Énergie et du Climat, il s'agit d'une direction d'administration centrale française qui définit et met en œuvre la politique énergétique de la France et d'approvisionnement en matières premières minérales. Elle appartient au ministère de la Transition énergétique.

Le cahier des charges⁷²

Dans le cahier des charges l'État fixe les principales caractéristiques des parcs et de leur raccordement. L'État fixe le nombre maximal d'éoliennes, la localisation géographique et l'emprise maximale du parc. Il définit plusieurs exigences pour le développement et l'exploitation des parcs : Il fixe les délais des travaux et de mise en service des parcs, ainsi que les obligations de démantèlement et les montants des garanties exigées ; Il exige que le lauréat conçoive, construise et exploite les parcs éoliens de manière à minimiser les effets sur l'environnement ; Il précise les conditions du raccordement des parcs réalisés par RTE et prévoit les conditions d'occupation de l'espace maritime, dont les impératifs en matière de sécurité maritime à respecter ; Il prévoit des obligations d'analyse des effets des parcs éoliens en mer sur les activités préexistantes⁷³. Pour s'assurer de la réalisation effective des parcs éoliens en mer, l'État fixe dans le cahier des charges les garanties financières que le lauréat devra verser à différentes étapes du projet⁷⁴. En outre, pour que les travaux soient réalisés dans des délais optimisés, le code de l'énergie peut prévoir que si le parc n'est pas mis en service dans un nombre de mois prédéfini après la désignation du lauréat, la durée du contrat de complément de rémunération sera diminuée de manière proportionnelle, et le cahier des charges peut prévoir des sanctions en cas de retard. Des garanties sont également demandées au lauréat pour couvrir les coûts engagés par RTE pour le raccordement dans le cas où le lauréat serait défaillant. Enfin, des garanties de démantèlement sont prévues dès la mise en service pour couvrir les coûts de démantèlement en cas de défaillance du lauréat.

Le cahier des charges fixe sur plusieurs thématiques des objectifs minimaux à respecter, sur lesquels le lauréat doit prendre des engagements précis et décrire les processus qu'il mettra en œuvre pour les atteindre. Le cahier des charges prend ainsi en compte des observations formulées lors du débat public pour fixer ces engagements minimaux, dans le respect du cadre juridique applicable. Le respect de l'ensemble de ces engagements sera contrôlé par l'État.

Les objectifs thématiques peuvent par exemple concerner :

- **L'insertion économique et sociale** : le cahier des charges peut demander des engagements en matière de développement économique et d'insertion (comme un pourcentage minimal du volume d'heures travaillées à confier à des personnes éloignées de l'emploi ou en apprentissage) ;
- **Le recours aux PME et à l'emploi local** : le cahier des charges peut fixer un pourcentage minimal de recours aux petites et moyennes entreprises⁷⁵ ;
- **Le choix du schéma industriel** : le cahier des charges peut demander des engagements sur le schéma industriel et la robustesse industrielle du projet ;
- **L'environnement** : le cahier des charges peut demander un engagement sur un montant minimum à allouer aux mesures de suivi et de réduction des impacts du parc sur l'environnement.

72 - Site éoliennes en mer https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche21_WEB_0.pdf [Consulté le 07/07/2022].

73 - Source : Site internet des éoliennes en mer. https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche21_WEB_0.pdf [Consulté le 07/07/2022].

74 - À titre d'illustration, pour le parc éolien en mer au large de Dunkerque, ces garanties étaient de 50 M€ au moment de la désignation du lauréat, remplacées par une garantie de 90 M€ au moment de la demande d'autorisation. Cette garantie est reversée au lauréat au moment de la mise en service du parc. Source : Projet d'éoliennes flottantes au sud de la Bretagne, fiche 21 : le débat public, juillet 2020. <https://eolbretsud.debatpublic.fr/wp-content/uploads/suites-contribuer.pdf> [Consulté le 07/07/2022].

75 - À titre d'illustration pour le parc éolien en mer au large de Dunkerque, le cahier des charges exigeait que le lauréat sous-traite à des PME 6% des travaux de construction (soit environ 60 M€ de chiffre d'affaires), et 3% des coûts de maintenance (soit environ 1,5 M€ par an pendant 30 ans). Source : Projet d'éoliennes flottantes au sud de la Bretagne, fiche 21 : le débat public, juillet 2020. <https://eolbretsud.debatpublic.fr/wp-content/uploads/suites-contribuer.pdf> [Consulté le 07/07/2022].

Les procédures de mise en concurrence pour des projets éoliens en mer sont régies par le code de l'énergie⁷⁶ et par le droit européen en matière d'aide d'État⁷⁷. La Commission européenne doit à ce titre valider le cahier des charges de la procédure de mise en concurrence au titre de la future aide d'État qui doit être compatible avec les règles européennes. La procédure doit en particulier respecter les critères de transparence et d'égalité de traitement des candidats. La notation des offres remises par les candidats ne peut porter que sur des critères objectifs et non discriminatoires pour les différents acteurs de l'éolien en mer, le prix devant constituer le critère principal⁷⁸. À titre d'illustration, il n'est pas possible de prévoir un critère de notation qui porterait sur des engagements relatifs au choix de fournisseurs locaux ou sur la nationalité du candidat.

Le cahier des charges peut également fixer des conditions tirées de l'expérimentation des éoliennes pilotes.

C. Les autorisations administratives

La concertation Fontaine

L'État, en tant qu'autorité de tutelle, doit veiller à ce que RTE s'acquitte de ses missions dans les meilleures conditions, notamment au regard des impératifs économiques, techniques et de protection de l'environnement. La concertation dite « Fontaine »⁷⁹ du 9 septembre 2002 relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité, prévoit donc que chaque projet de développement du réseau public de transport d'électricité fasse l'objet d'une étude préalable afin de vérifier l'opportunité du projet puis que soit organisée une concertation spécifique. RTE doit déposer un dossier de justification technico-économique aux services de l'État, le dossier doit prouver que RTE a envisagé toutes les solutions pertinentes au regard des besoins à satisfaire et des contraintes environnementales. Une fois que les services de l'État considèrent que le projet est justifié, RTE met en œuvre une concertation sous l'égide du Préfet qui doit permettre « de définir, avec les élus et les associations représentatifs des populations concernées, les caractéristiques ainsi que les mesures d'insertion environnementale et d'accompagnement du projet »⁸⁰, elle permet également d'apporter une information de qualité aux populations concernées par le projet de raccordement.

76 - Articles L. 311-10 et suivants, R. 311-12 et suivants, et R. 311-25 et suivants du code de l'énergie.

77 - Article 107 du Traité de fonctionnement de l'Union européenne, et les « Lignes directrices concernant les aides d'État à la protection de l'environnement et à l'énergie ».

78 - À titre d'illustration, pour le projet au large de Dunkerque, le cahier des charges prévoyait différents critères de notation pour orienter la mise en concurrence : le tarif de référence de l'électricité comptait pour 70% de la notation ; la robustesse financière et contractuelle de l'offre comptait pour 10% de la notation ; l'emprise maximale de l'installation et la distance minimale à la côte comptaient respectivement pour 7% et 4% de la notation ; Le nombre maximum d'éoliennes comptait pour 4% de la notation ; le montant alloué aux mesures environnementales et de suivi comptait pour 5% de la notation.

79 - La concertation Fontaine est fixée par la circulaire ministérielle du 9 septembre 2002 relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité, dite « circulaire Fontaine ». <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/26580>

80 - La concertation Fontaine se déroule en trois étapes :

- La Justification Technico-Economique validée par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat, du Ministère chargé de l'Énergie, La validation de l'aire d'étude du tracé du raccordement,
- La validation du fuseau de moindre impact pour le raccordement.
- La concertation associe les services de l'État, les élus, les associations et le maître d'ouvrage, elle peut prendre la forme de réunions ou se dérouler par écrit.

L'études d'impact

À l'issue de la procédure de mise en concurrence, après la désignation du lauréat, RTE et le développeur éolien lauréat réalisent une étude d'impact environnementale qui comprend un état initial de l'environnement⁸¹ ainsi qu'une évaluation des impacts marins et terrestres⁸² du projet (parc éolien en mer et ouvrages de raccordement associés). Cette étude d'impact permettra par la suite de définir des mesures d'Évitement, de Réduction et de Compensation (procédure ERC).

Les différentes autorisations administratives

Les autorisations administratives à caractéristiques variables

La loi pour un État au service d'une société de confiance (ESSOC)⁸³ et le Décret du 21 décembre 2018 relatif aux procédures d'autorisations des installations de production d'énergie renouvelable en mer⁸⁴ permettent la mise en œuvre du « permis enveloppe ». Ainsi, les autorisations administratives relatives à un parc éolien en mer et son raccordement peuvent présenter des caractéristiques variables, notamment en matière de puissance, de nombre et de gabarit des éoliennes, dans des limites maximales précisées par les autorisations. Ces nouvelles dispositions permettent aux porteurs de projet et à RTE d'adapter leurs ouvrages aux évolutions technologiques les plus récentes lors de l'engagement en phase de construction, sans avoir à modifier leurs autorisations ou à en solliciter de nouvelles, ce qui induit un gain de temps.

La construction d'un parc éolien en mer et de ses ouvrages de raccordement nécessite l'obtention d'autorisations administratives, par le lauréat de la procédure de mise en concurrence en ce qui concerne le parc éolien en mer, et par RTE pour le raccordement, y compris la sous-station en mer. La nature des autorisations relatives au parc éolien en mer dépend de l'espace maritime dans lequel le projet est situé.

81 - L'état initial de l'environnement a pour objectif de connaître les composantes physiques, biologiques, écologiques et socio-économiques du milieu et ce avant l'implantation du parc éolien. Cet état initial va servir de base pour la procédure ERC (l'objectif de la procédure ERC sera de retrouver les mêmes indicateurs que ceux de l'état initial).

82 - Cette évaluation des impacts marins et terrestres comporte cinq catégories :
 - L'évaluation du milieu physique (sols, qualité de l'eau et de l'air) ;
 - L'évaluation du milieu naturel (faune et flore) ;
 - L'évaluation du paysage et du patrimoine ;
 - L'évaluation du milieu humain (pêche, tourisme, transport, loisirs, immobilier) ;
 - L'évaluation de l'hygiène, de la santé, de la sécurité, et de la salubrité publique.

83 - LOI n° 2018-727 du 10 août 2018 pour un État au service d'une société de confiance. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037307624/>

84 - Décret n° 2018-1204 du 21 décembre 2018 relatif aux procédures d'autorisations des installations de production d'énergie renouvelable en mer. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037847804>

Le porteur du projet et RTE doivent obtenir les autorisations suivantes :

- Si le projet se situe au sein du domaine public maritime⁸⁵, le porteur du projet de parc éolien en mer et RTE doivent chacun obtenir une concession d'utilisation du domaine public maritime, délivrée par le préfet de département. Toute occupation du domaine public est précaire et révocable⁸⁶ et doit être conditionnée à l'obtention d'une autorisation dans les conditions fixées aux articles L. 2124-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques ;
- Si le projet se situe en zone économique exclusive c'est-à-dire au-delà des 12 milles marins, le parc éolien en mer doit obtenir une autorisation unique et un agrément du tracé des câbles de raccordement, ces deux autorisations étant délivrées par le préfet maritime au titre de l'ordonnance du 8 décembre 2016.

Le porteur du projet et RTE devaient également obtenir des autorisations environnementales, avant l'adoption de la loi APER (cf. encadré ci-contre) :

- Si le projet se situe sur le domaine public maritime, le porteur du projet de parc éolien en mer et RTE pour son raccordement doivent chacun obtenir une autorisation environnementale, conformément aux articles L. 214-3 et L. 181-1 et suivants du code de l'environnement. Au regard des résultats de l'étude d'impacts réalisée, conformément à l'article L. 181-2 du code de l'environnement plusieurs autres autorisations peuvent être nécessaires, notamment des dérogations à l'interdiction d'atteinte aux espèces et habitats protégés. Si le projet se situe en zone économique exclusive, seule l'autorisation unique précitée est nécessaire, cette dernière est délivrée par le préfet maritime et tient lieu d'autorisation environnementale. Le porteur du projet et RTE doivent également obtenir des autorisations en matière d'urbanisme ; un permis de construire pour la construction du poste électrique à terre devra être sollicité par RTE en application des articles L. 421-1 et suivants du code de l'urbanisme. Le lauréat, ou ses fournisseurs, peuvent également avoir à demander des autorisations dans des ports par exemple, pour construire une base de maintenance.

85 - Article L. 2111-4 du code général de la propriété des personnes publiques.

86 - Article L. 2124-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques.

Les dispositions de la loi Accélération de la Production d'Énergies Renouvelables

Résumé des dispositions AER sur l'éolien en mer :

- Article 31 : permet d'anticiper les raccordements en mer sans attendre la désignation des lauréats. RTE commence ainsi les études et les travaux de la ligne et la sous-station indépendamment du processus d'appel d'offres. Cela permet de paralléliser les deux processus.
- Article 56 :
 - Donne la possibilité de mutualiser les débats publics pour l'éolien en mer et pour le document stratégique de façade (DSF) afin d'améliorer la planification spatiale de l'espace maritime, de donner une meilleure visibilité au public et d'accélérer le développement des projets. Lorsque cette mutualisation intervient, le DSF établi, en 2024, pour chaque façade maritime, une cartographie des zones prioritaires pour l'implantation des projets sur une période de 10 ans. Les zones situées en ZEE et en dehors des parcs nationaux ayant une partie maritime sont ciblées. La cartographie identifie également les zones d'accélération pour le développement de l'éolien en mer à horizon 2050 ;
 - Permet de lancer les procédures de mise en concurrence dans un délai de 10 ans à compter de la publication du bilan du débat public (contre 7 ans), par cohérence avec le délai de validité de 10 ans de la cartographie ;
 - Précise que les collectivités territoriales littorales invitées à formuler un avis sur le choix de la localisation sont celles situées à moins de 100 kilomètres des zones d'implantation.
- L'article 58 : précise que l'État réalise les études techniques et environnementales nécessaires aux projets éoliens en mer.
- L'article 59 : crée un régime juridique unique applicable aux parcs éoliens à cheval entre DPM et ZEE qui sera celui de la mer territoriale. Le régime d'autorisation et les sanctions le cas échéant applicables sont celles de la mer territoriale. Toutes les autres règles relatives à la ZEE continuent de s'appliquer à la partie des installations située en ZEE. Cette clarification permettra de faciliter la réalisation de ces projets éolien en mer.
- L'article 61 :
 - Crée un régime d'autorisation unique pour le raccordement. En effet, l'autorisation environnementale tiendra lieu des autorisations requises en ZEE ainsi que de l'arrêté d'approbation de la CUDPM ;
 - Intègre dans l'autorisation environnementale du parc, l'arrêté d'approbation de la CUDPM (mais pas les autorisations en ZEE car l'article 13 a déjà simplifié cette situation).
- L'article 63 : adapte et clarifie le régime applicable aux installations flottantes sur le DPM et en ZEE (sortie du statut de navire, immatriculation, contrôles par des organismes agréés et sanctions associées). Ces nouvelles dispositions ne s'appliquent pas aux projets déjà autorisés tels que les fermes pilotes flottantes afin de ne pas retarder les projets avec des contraintes nouvelles.
- L'article 64 :
 - Élargit le dispositif de l'État d'accueil à la ZEE afin de garantir l'application de règles uniformes en matière de droit social (effectifs minimaux, rémunération etc.) ;
 - Étend les règles de cabotage aux trajets entre un port et île artificielle ou entre deux îles artificielles ;
 - Pour les non-gens de mer, assouplit la répartition de la durée de travail et applique un régime unique à ceux travaillant alternativement à terre et en mer.

L'enquête publique

Plusieurs demandes d'autorisations nécessitent la mise en œuvre d'une enquête publique. L'enquête publique est une étape obligatoire au développement d'un parc éolien en mer et est préalable à l'obtention des autorisations administrative. Elle est encadrée par une Commission d'Enquête Publique indépendante qui vise à informer le public et à recueillir son avis sur le projet. L'enquête publique présente le projet de parc éolien en mer⁸⁷.

Plusieurs documents sont présentés durant l'enquête publique :

- L'étude d'impact et son résumé non-technique ;
- Le rapport sur les incidences environnementales et son résumé non-technique ;
- L'avis de l'autorité environnementale ;
- La réponse écrite du maître d'ouvrage à l'avis de l'autorité environnementale ;
- Les autres avis émis (par exemple celui du Conseil national de protection de la nature), lorsqu'ils sont rendus obligatoires par un texte législatif ou réglementaire préalablement à l'ouverture de l'enquête ;
- Le bilan de la procédure de débat public organisée ;
- La mention des autres autorisations nécessaires pour réaliser le projet.

Une autre enquête publique est conduite simultanément pour la partie concernant le raccordement électrique sous maîtrise d'ouvrage de RTE.

Le public peut consigner ses observations et commentaires sur le projet de parc éolien dans le registre papier ainsi que dans le registre dématérialisé qui lui sont dédiés. L'enquête publique ne peut être inférieure à trente jours. Le commissaire enquêteur peut, par décision motivée, la prolonger pour une durée supplémentaire maximale de trente jours⁸⁸.

Après la clôture de l'enquête publique, la commission rédige un procès-verbal de synthèse des observations, et le notifie au maître d'ouvrage qui produit ses observations éventuelles. La commission établit dans le mois qui suit la clôture de l'enquête publique son rapport et les conclusions motivées qui précisent si le public est favorable, favorable sous réserve(s), ou défavorable à la poursuite du projet. Le rapport doit faire état des contre-propositions qui ont été faites au cours de l'enquête ainsi que des réponses éventuelles apportées par le maître d'ouvrage. Ces documents doivent être rendus publics. Ils sont transmis au préfet afin d'éclairer sa décision relative aux autorisations administratives du projet.

87 - Site internet du parc éolien de Dieppe-Le Tréport. <https://dieppe-le-treport.eoliennes-mer.fr/focus-bientot-lenquete-publique-du-projet/> [Consulté le 11/07/2022].

88 - Article L. 123-9 du code de l'environnement.

L'instruction administrative et les potentiels recours

L'ensemble des demandes déposées par le lauréat du projet et RTE font l'objet d'une instruction administrative par le préfet et les services administratifs compétents. Les autorisations demandées peuvent faire l'objet d'un recours contentieux⁸⁹.

La loi ASAP⁹⁰ rend le Conseil d'État compétent en premier et dernier ressort⁹¹, pour juger de la légalité des « décisions relatives aux installations de production d'énergie renouvelable en mer ainsi qu'à leurs ouvrages connexes, aux ouvrages des réseaux publics d'électricité afférents et aux infrastructures portuaires rendues nécessaires pour la construction, le stockage, le pré-assemblage, l'exploitation et la maintenance de ces installations et ouvrages »⁹². Ce transfert de compétence juridictionnelle a pour but d'accélérer les projets d'installation d'éoliennes en mer en réduisant le délai de traitement des recours judiciaires⁹³. On constatait en effet que l'ensemble des recours faisaient l'objet d'un pourvoi en cassation.

89 - Une trentaine d'autorisations administratives peuvent faire l'objet d'un recours contentieux comme l'autorisation d'exploiter une installation de production d'électricité, l'autorisation environnementale, l'autorisation de défrichement, la dérogation espèces protégées, la déclaration d'utilité publique ou encore le permis de construire du poste électrique.

90 - Loi n° 2020-1525 du 7 décembre 2020 d'accélération et de simplification de l'action publique (ASAP). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042619877>

91 - Il remplace de ce fait la cour administrative de Nantes qui était jusqu'alors compétente en premier ressort pour ces recours.

92 - Article L311-13 Code de justice administrative. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042634383

93 - Site internet de la Fédération nationale des travaux publics (FNTP) <https://www.fntp.fr/infodoc/environnement-rse/energie-et-changement-climatique/eolien-offshore-le-conseil-d'Etat> [Consulté le 11/07/2022].

D. La phase de construction des éoliennes posées en mer

Une fois que l'ensemble des autorisations ont été accordées par les services instructeurs, la phase de construction peut commencer. Le lauréat sélectionne les différents prestataires et sous-traitants avec lesquels il souhaite travailler tout au long du projet.

La phase de construction commence par le design des composants et leur fabrication en usine. Les composants sont ensuite acheminés et assemblés au sein du site d'assemblage prévu à cet effet⁹⁴. Parallèlement, la base de maintenance est construite⁹⁵ et les infrastructures portuaires sont adaptées aux besoins du projet.



Figure 5 : La nacelle d'une éolienne en mer du parc de Saint-Nazaire.

Source : Site internet de Saint-Nazaire.

Par exemple, les fondations gravitaires du parc éolien en mer de Fécamp ont été construites au Havre avant d'être acheminées par barge jusqu'à la zone du parc puis installées.

94 - Il s'agit généralement d'un site terrestre situé non loin de la zone d'implantation du parc éolien en mer.

95 - La base de maintenance est située à terre et a pour principale mission de veiller à l'entretien du parc éolien en mer.

Les fondations construites pour le parc éolien de Saint-Nazaire sont des tubes d'acier de 55 mètres de haut et de 7 mètres de diamètre. Elles ont été transportées, trois par trois sur une barge, et installées en mer entre mai 2021 et mai 2022. Au sommet des fondations des pièces de transition qui émergent à 25 mètres au-dessus du niveau de la mer ont été ajoutées et sont destinées à accueillir le mât des futures éoliennes.

Figure 6 : Les fondations et les pièces de transition des éoliennes en mer du parc de Saint-Nazaire.

Source : Site internet du parc éolien de Saint-Nazaire

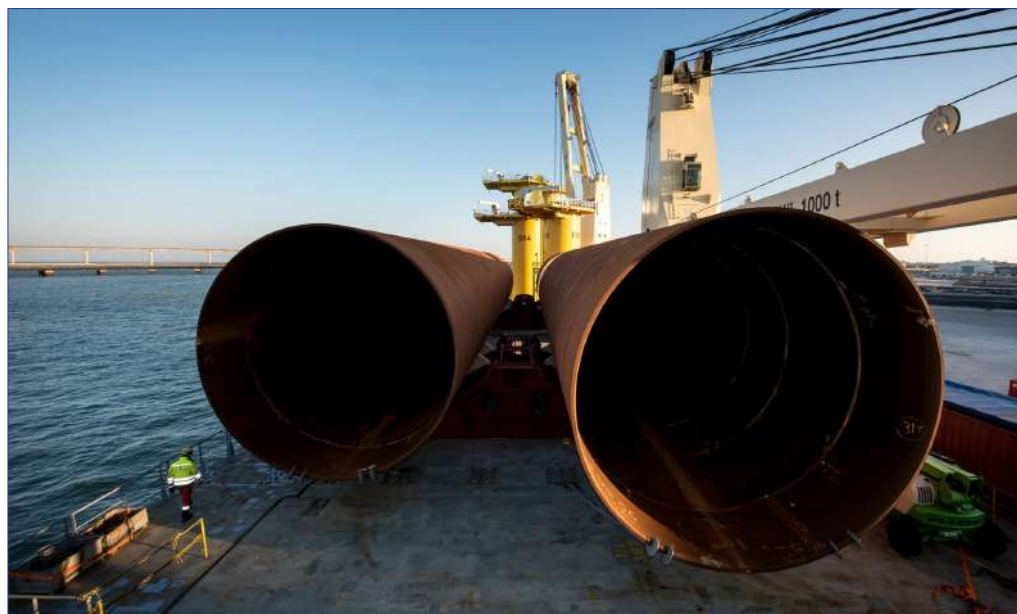


Figure 7 : Le transport des fondations des éoliennes en mer du parc de Saint-Nazaire.

Source : Site internet du parc éolien de Saint-Nazaire

Figure 8 : Le transport de la fondation jacker de la sous-station du parc de Saint-Nazaire.

Source : Site internet de Saint-Nazaire.



La sous-station électrique en mer⁹⁶ doit également être installée, ainsi que les câbles de raccordement en mer et à terre, pour transformer et acheminer l'électricité produite par le parc. RTE est responsable de la construction et de l'exploitation du raccordement du parc depuis la sous-station jusqu'au au réseau électrique à terre⁹⁷. Pour les premiers parcs éoliens en mer français, RTE n'était pas responsable de la sous-station.



Figure 9 : L'Installation de la sous-station électrique en mer.

Source : Site internet de Saint-Nazaire.

96 - La sous-station électrique en mer est le lieu de jonction de l'ensemble des câbles inter-éoliennes. La sous-station héberge le matériel électrique (poste électrique, transformateurs, équipements de contrôle commande) nécessaire à la transformation et à l'acheminement de l'énergie produite par les éoliennes vers le réseau terrestre.

97 - Afin de transporter l'électricité produite par le parc éolien en mer à terre, il est nécessaire d'installer des liaisons électriques sous-marines jusqu'au point d'atterrage. Ces câbles sont soit ensouillés (enfouis sous le fond marin), soit protégés par des protections externes (enrochements ou matelas béton). Le changement technologique de la liaison sous-marine à la liaison terrestre se fait au sein d'une chambre d'atterrage. À titre d'illustration la sous-station électrique en mer du parc éolien de Saint-Nazaire permettra de récolter l'électricité produite par les 80 éoliennes et de la transformera pour l'acheminer jusqu'à la sous-station terrestre via deux câbles sous-marins puis souterrains.



Figure 10 : L'installation des câbles inter-éoliennes.

Source : Site internet du parc éolien de Saint-Nazaire

La structure supérieure des éoliennes (les mâts et les pales) est acheminée de manière fragmentée (le mât est séparé des pales) jusqu'au parc en mer. Le transport du mât et des trois pales s'effectue par un navire auto-élévateur spécialisé⁹⁸ dans les installations off-shore. Le navire possède quatre pieds qui lui permettent de s'ancreur sur les fonds marins et ainsi de ne pas subir le mouvement de la mer ; le navire reste stable et peut réaliser avec précision le montage du mât et des pales à partir des fondations déjà posées en mer.

Le navire auto-élévateur⁹⁹ utilisé pour l'installation du parc éolien de Saint-Nazaire, permet de transporter quatre mâts¹⁰⁰ avec leur trois pales¹⁰¹ et quatre nacelles. Pour assurer l'installation et l'assemblage des éoliennes en mer, les développeurs ont recours à des navires auto-élévateurs capables de transporter plusieurs pales et mâts (quatre mâts et trois pâles pour le parc de Saint-Nazaire par exemple).

98 - Un navire auto-élévateur est un type de plate-forme mobile qui se compose d'une coque flottante munie d'un certain nombre de jambes mobiles, capables d'élever sa coque au-dessus de la surface de la mer.

99 - Le navire utilisé pour l'installation du parc éolien de Saint-Nazaire (Le navire *Vole au vent* du groupe néerlandais Jan De Nul) possédait quatre grandes tours dédiées au chargement et une grue d'une capacité de levage de 1 500 tonnes. Le navire mesurait 140 mètres de long pour 41 mètres de large et pouvait transporter jusqu'à 6 500 tonnes de marchandises.

100 - Chaque mât mesurait 100 mètres de haut.

101 - Chaque pale mesurait 73,50 mètres de long.



Figure 11 : Le transport et l'installation des éoliennes du parc de Saint-Nazaire par le navire auto-élévateur.

Source : Jan de Nul.

Une fois l'ensemble des éoliennes installées, celles-ci peuvent être mises en service et l'exploitation peut démarrer.

La sécurisation de la zone de construction

Durant le chantier de construction du parc éolien en mer, la zone est progressivement interdite à tous les usagers de la mer pour des raisons de sécurité maritime. Des règles de navigation sont établies afin que les pêcheurs professionnels puissent venir travailler dans des zones sécurisées.

La zone est encadrée par des navires de surveillance dont la mission principale est de sécuriser le site durant la phase de construction du parc éolien en mer. Ils surveillent en permanence le trafic maritime à proximité du chantier, visuellement mais aussi à l'aide d'un radar et d'un SIA (Système d'Identification Automatique par VHF). Ils peuvent orienter les navires sur les règles de navigation en place et assurer leur traversée du site en toute sécurité.

Une fois les installations mises en service, le ou les lauréats et RTE géreront et maintiendront leurs installations respectives pendant la durée d'exploitation prévue. La durée d'exploitation du parc arrivée à son terme (environ 25 à 30 ans), le ou les lauréats devront démanteler leurs parcs afin de restituer les sites dans un état comparable à l'état initial.

III. Les enjeux économiques

1. L'éolien en mer est un secteur économique installé en Europe

Le rapport de la Commission européenne sur l'économie bleue en Europe¹⁰², décrit le marché européen de l'éolien en mer comme un secteur « petit mais en pleine expansion ». Le marché européen de l'éolien en mer se développe de manière dynamique, les industriels européens sont des acteurs majeurs de l'éolien en mer au niveau mondial.

102 - La Commission Européenne, Direction Générale des Affaires Maritimes et de la Pêche, rapport *L'économie bleue européenne 2022* <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/156eecd-d7eb-11ec-a95f-01aa75ed71a1> [Consulté le 04/07/2022].

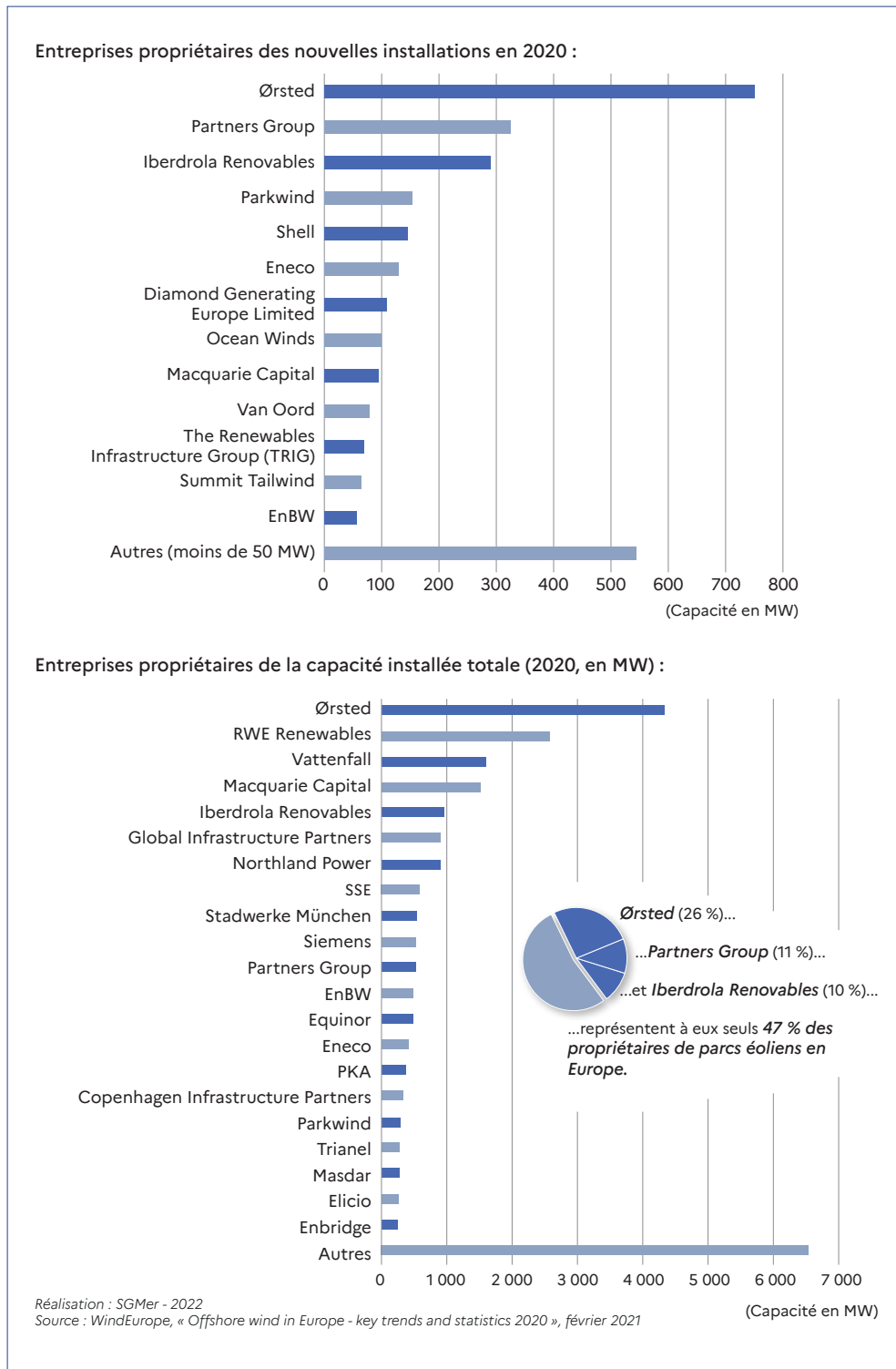
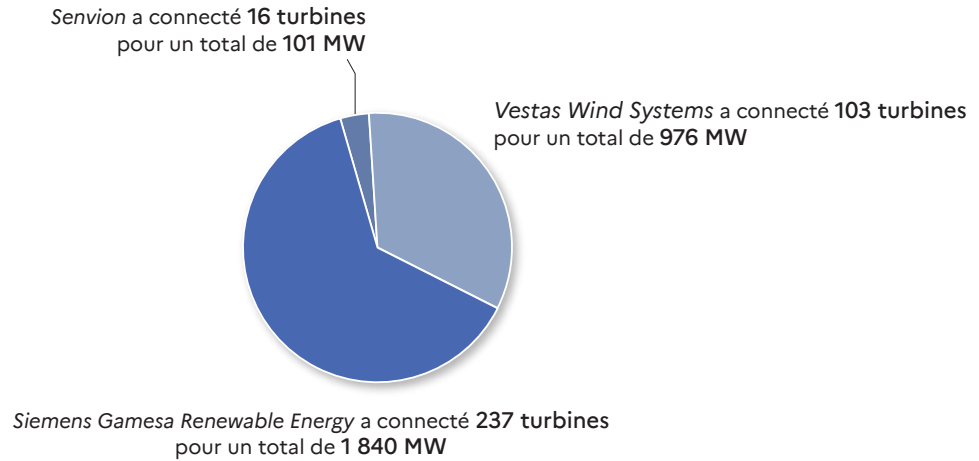
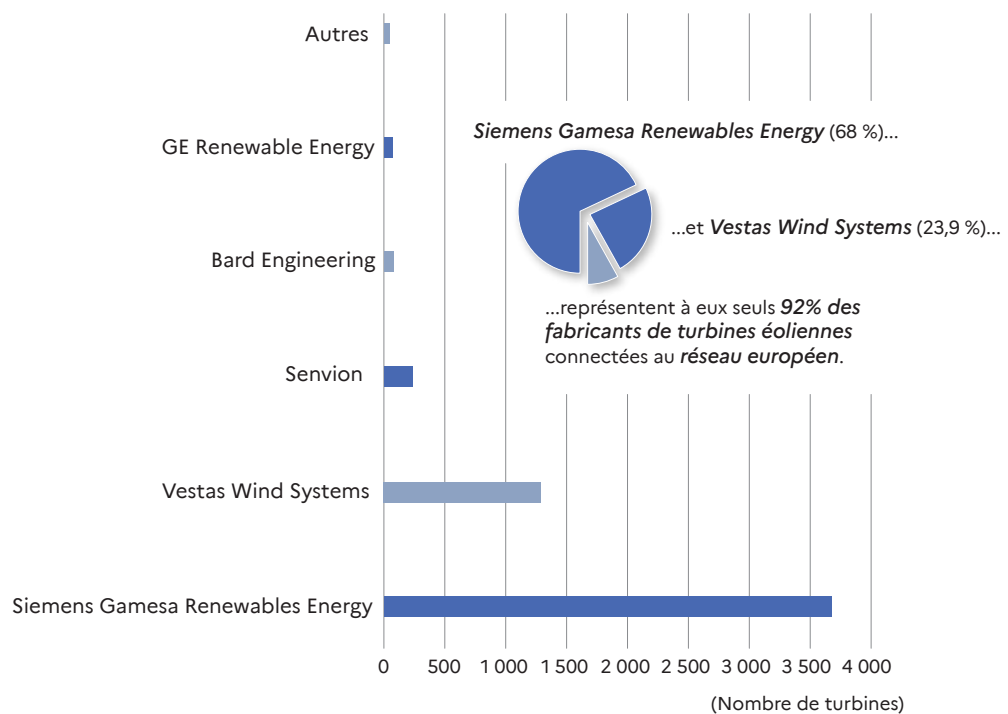


Figure n°12 :
 Le paysage européen
 des propriétaires de parcs éoliens
 off-shore (2021)

Entreprises fabricantes des nouvelles installations en 2020 :



Entreprises fabricantes de la capacité installée totale (2020, en MW) :



Réalisation : SGMer - 2022

Source : WindEurope, « Offshore wind in Europe - key trends and statistics 2020 », février 2021

Figure n°13 : Le paysage européen des fabricants d'éoliennes en mer (2021).

2. L'éolien en mer est un secteur en développement en France

A. Un secteur générateur d'emplois

Le développement des premiers parcs de l'éolien en mer en France permet un effet d'entraînement sur les acteurs industriels, notamment sur l'emploi. D'après l'Observatoire des énergies de la mer¹⁰³ 6 591 emplois à temps plein ont été créés dans l'éolien en mer¹⁰⁴.

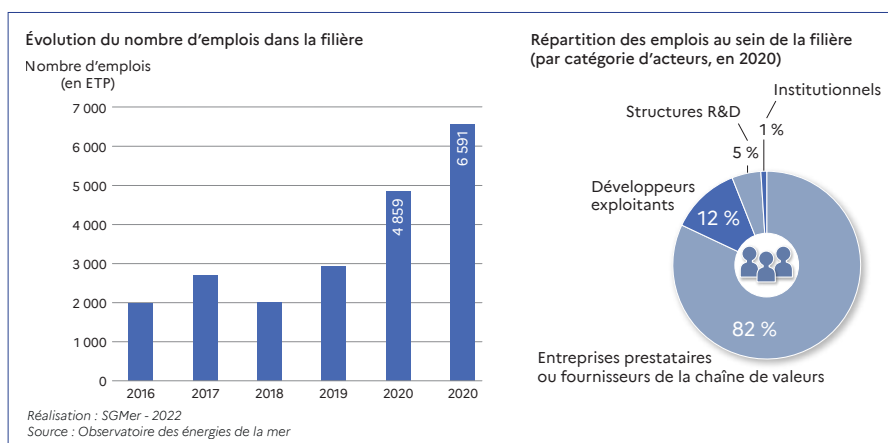


Figure n°14 : Les emplois de l'éolien en mer en France.

La majorité des emplois ont été créés dans les régions Pays de la Loire et Normandie¹⁰⁵. Cela s'explique en grande partie par l'implantation géographique des usines et des chantiers de construction des parcs. On observe également une hausse des emplois en Bretagne, en Sud-PACA et en Occitanie. La création d'emplois dans l'éolien en mer repose à la fois sur la présence d'un socle industriel pérenne (notamment des cabinets d'étude, des usines de fabrication de composants et d'assemblage), et sur l'implantation des chantiers de construction¹⁰⁶, des bases de maintenance à proximité des parcs. Le développement du secteur induit également la création d'emplois indirects comme dans le secteur du génie civil.

Afin d'accompagner le développement des parcs éolien en mer, le Gouvernement et la filière des énergies de la mer¹⁰⁷ ont signé le 14 mars 2022

103 - L'Observatoire des énergies de la mer, Rapport 2022 *La réalité de la filière EMR*. <https://merenergies.fr/>

104 - Soit une hausse des emplois de 35% par rapport à l'année précédente.

105 - L'Observatoire des énergies de la mer, Rapport 2022 *La réalité de la filière EMR*. <https://merenergies.fr/>

106 - *Ibid.*

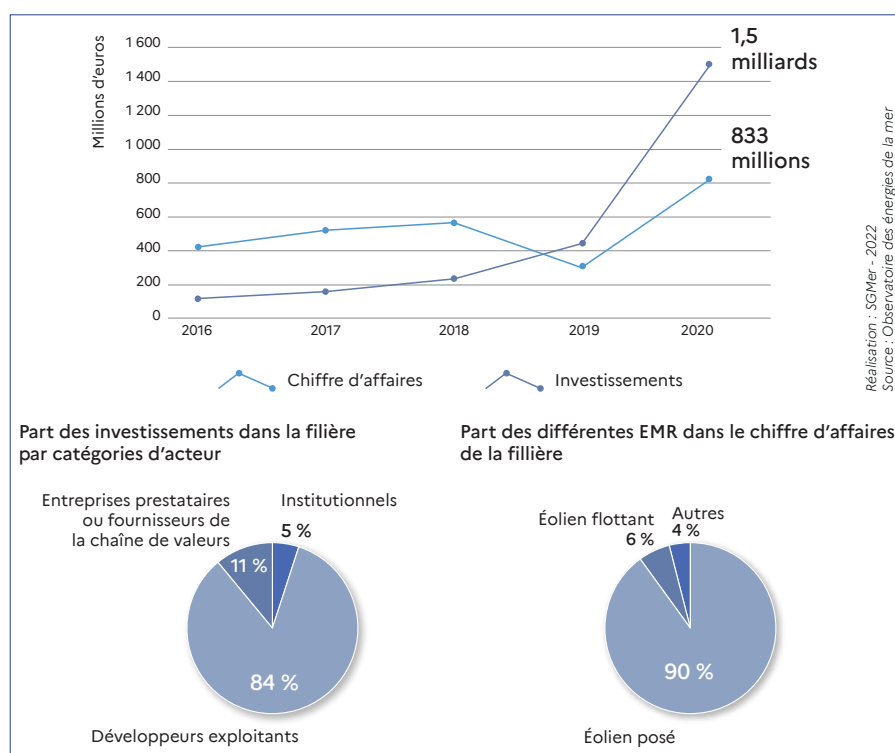
107 - La filière était représentée par le Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne et le Comité Stratégique de Filière des Nouveaux Systèmes Énergétiques.

le Pacte pour l'éolien en mer. Dans ce pacte, l'État confirme son engagement pour un déploiement ambitieux de l'éolien en mer au large des côtes françaises avec un objectif d'attribution d'environ 2 GW par an dès 2025 et 40 GW installés en 2050. La filière s'engage à créer plus de 20 000 emplois dans ce secteur en France d'ici 2035 (et à atteindre un contenu local à hauteur de 50 % — calculé sur l'ensemble des coûts des projets éoliens en mer¹⁰⁸ —).

Le secteur de l'éolien en mer est confronté à des tensions pour le recrutement de certains métiers¹⁰⁹. Afin de résorber cette difficulté, plusieurs régions ont créé des groupes de travail « emploi/formation » sur les métiers en lien avec les énergies marines renouvelables.

B. Un secteur générateur de chiffre d'affaires

D'après le rapport de l'Observatoire des énergies de la mer¹¹⁰ la filière française de l'éolien en mer a généré plus d'1,3 milliards d'euros de chiffres d'affaires en 2021 (soit un chiffre 55 fois supérieur à celui de 2009)¹¹¹.



108 - Site internet des éoliennes en mer. https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2022/03/2022.03.14_pacte-eolien-mer.pdf [Consulté le 12/07/2022].

109 - Les métiers particulièrement en tension sont les métiers de soudeur, de chaudronnier, d'électricien, de technicien méthodes, de tuyauteur, de technicien de maintenance éolien offshore, de mécanicien, de qualitatif, d'électronicien, de peintre.

La mise en service des parcs nécessitera le déploiement des activités d'exploitation et maintenance, les acteurs de la filière anticipent de fortes tensions pour les métiers en lien avec ces activités (les métiers d'inspection de qualité, de commissioning, de maintenance...). Source : L'Observatoire des énergies de la mer, Synthèse du rapport 2022 *La réalité de la filière EMR* <https://merenergies.fr/media/Synthese-OEM-2022-FR-A4.pdf>

110 - Site internet de l'Observatoire des énergies de la mer. <https://merenergies.fr/> [Consulté le 12/07/2022].

111 - Les profits générés sur l'année 2009 étaient de 23 millions.

Figure n°15 : Le poids économique de l'éolien en mer en France.

Le chiffre d'affaire de la filière est essentiellement généré par les activités de fabrication, les activités d'ingénierie, les activités de construction et les activités d'opérations en mer.



Figure n°16 : La chaîne de valeur de la filière éolienne.

La France possède un tiers des capacités européennes de production d'éoliennes en mer¹¹². L'export a été un moteur du démarrage de la filière française des énergies marines renouvelables, pour l'éolien en mer, quand le démarrage des parcs français n'était pas encore acté¹¹³.

La France accueille des usines très spécialisées comme les usines de General Electric à Montoir-de-Bretagne (nacelles et générateurs), de LM Wind Power à Cherbourg (pales) et de Siemens Gamesa au Havre (nacelles et pales). D'autres industries sont également sollicités, comme les Chantiers de l'Atlantique pour la production des postes électriques en mer ou les usines de Prysmian pour la fabrication des câbles.

Les industries françaises bénéficient de commandes provenant de l'étranger. À titre d'illustration, l'usine de LM Wind Power (groupe GE Renewable Energy à Cherbourg) est en charge de la fabrication de la plus grande pale jamais réalisée, l'Haliade-X de 12MW¹¹⁴, destinée notamment au futur parc éolien en mer de Vineyard Wind 1 aux États-Unis.

Les retombées économiques du développement de l'éolien en mer pourraient, à terme, être importantes. D'après une étude du Syndicat des énergies renouvelables (SER) et du cabinet EY¹¹⁵ en suivant les hypothèses d'un développement de 6,5 GW d'éolien en mer posé et de 1,5 GW d'éolien en mer flottant en 2033, les emplois dans ce secteur pourraient être multipliés par six et la valeur ajoutée par dix.

D'autres filières intermédiaires investissent massivement afin de s'adapter aux changements générés par les éoliennes en mer. De nombreuses opérations complexes d'assemblage de composants sont réalisées à quai, obligeant de ce fait les ports à s'adapter pour pouvoir accueillir ce type d'activités. En ce sens, le port de Brest aménage depuis 2018 différents espaces (dont une extension de 40 hectares) pour accueillir les EMR¹¹⁶. Le port de Port-La Nouvelle s'inscrit dans la même dynamique, le port a été choisi pour devenir le site d'assemblage de la ferme pilote d'éoliennes flottantes de Leucate-Le Barcarès, des travaux ont été réalisés afin d'adapter les infrastructures du port à ce nouveau projet¹¹⁷.

112 - Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

113 - L'Observatoire des énergies de la mer, Synthèse du rapport 2022 *La réalité de la filière EMR*. <https://merenergies.fr/media/Synthese-OEM-2022-FR-A4.pdf>

114 - La pale mesure 107 mètres de longueur.

115 - Etude du Syndicat des énergies renouvelables (SER) et du cabinet EY, Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires, juin 2020. <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/synthese-etude-ey-ser-energies-renouvelables-maj-021020.pdf>

116 - Ouest France, Comment Brest veut devenir la nouvelle place forte des énergies marines renouvelables, Laura Daniel, novembre 2021. <https://www.ouest-france.fr/bretagne/comment-brest-veut-devenir-la-nouvelle-place-forte-des-energies-marines-renouvelables-62c0fafa-4884-11ec-a192-3afacb30e02d> [Consulté le 12/07/2022].

117 - Site internet de Port-La Nouvelle <https://www.eolien-portlanouvelle.com/> [Consulté le 12/07/2022].

3. Coûts / bénéfices : les éoliennes en mer à l'épreuve de la rentabilité

A. De la ferme pilote au parc commercial

La mise en place d'éoliennes en mer reste un processus long et complexe qui nécessite plusieurs phases. L'éolien posé est aujourd'hui une technologie mature, largement déployée en Europe à échelle commerciale. Si la maturité de l'éolien flottant avance, des études et expérimentations complémentaires sont nécessaires, notamment par le biais de démonstrations en bassins ou en environnement réel¹¹⁸ et le développement de fermes pilotes¹¹⁹. La France dispose avec le site d'essai SEM-REV du premier site européen d'essais en mer multi-technologiques connecté au réseau, lui permettant de faire des tests à l'échelle réelle¹²⁰.

Le but de ces expérimentations est de tester pendant plusieurs années différents prototypes afin de valider ou rectifier les technologies éoliennes en mer dans des conditions semblables à celles d'un futur parc commercial. Une fois l'ensemble des vérifications réalisées, les technologies éprouvées peuvent être utilisées dans le cadre de projets commerciaux.

L'importance de la recherche publique dans le développement de l'éolien en mer¹²¹

Les EMR bénéficient des travaux des organismes publics de recherche et de formation avec 93 laboratoires français travaillant en lien avec les EMR. Une part de cette recherche est également coordonnée et structurée au niveau national par un institut de la transition énergétique, France Energies Marines.

Le laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique (LHEEA) de l'Ecole Centrale Nantes joue un rôle particulier puisqu'il est en charge de la gestion du SEM-REV.

118 - L'un des bassins qui est particulièrement utilisé est le bassin de génie océanique First à La Seyne-sur-Mer (Var) qui a été ouvert en 1998 et qui permet de reproduire les conditions du milieu marin (la simulation permet de créer des vagues, des pompes génèrent le courant de la mer et des ventilateurs recréent le vent).

119 - Les fermes pilotes sont installées en mer.

120 - Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

121 - *Ibid.*

B. L'évaluation des retombées économiques

Les études menées durant la construction du parc éolien de Saint-Nazaire ont permis d'estimer les premières retombées économiques générées par le parc ; durant la phase de construction 1 200 emplois locaux¹²² et plus de 2 300 emplois nationaux ont été mobilisés ; plus de 200 entreprises françaises ont participé à ce projet. Ces chiffres soulignent l'importance économique de ce projet pour le territoire. La dynamique économique s'inscrit dans le long terme ; il est en effet estimé que l'activité de la base de maintenance de la Turballe (Loire-Atlantique) contribuera à la création de plus de 100 emplois directs sur 25 ans¹²³.

Les travaux et études pour les premiers parcs éoliens en mer français génèrent d'ores et déjà de nombreuses retombées économiques locales. Le développement de l'éolien en mer devrait accentuer cette tendance

C. Le coût d'installation des parcs éoliens en mer

Le coût de déploiement d'un parc éolien en mer est constitué de plusieurs catégories de dépenses :

- Les dépenses de développement du projet ;
- Les dépenses d'investissement, liées à son financement, aux études, à la construction des éoliennes, les supports et des ancrages, à l'installation du parc et à son raccordement ;
- Les dépenses de fonctionnement, relatives à son exploitation et à sa maintenance ;
- Les dépenses de démantèlement du parc.

122 - Les emplois mobilisés se répartissent dans différents sites géographiques et ont été nécessaires aux différentes étapes de développement du parc. 400 emplois directs ont été mobilisés à Montoir de Bretagne pour la fabrication des éoliennes, 150 emplois directs ont été mobilisés à Saint-Nazaire pour l'assemblage des éoliennes et l'installation en mer, 450 emplois ont été mobilisés à Saint-Nazaire pour la fabrication de la sous-station en mer, 200 emplois ont été mobilisés à Nantes pour le centre d'ingénierie. Source : EDF renouvelables <https://aicvf.org/poitou-charentes/files/2022/06/6-presentation-edfrenouvelables-eolien-offshore-st-nazaire.pdf> [Consulté le 12/07/2022].

123 - Site internet du parc éolien de Saint-Nazaire <https://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr/le-parc-eolien-en-mer/presentation-projet/> [Consulté le 12/07/2022].

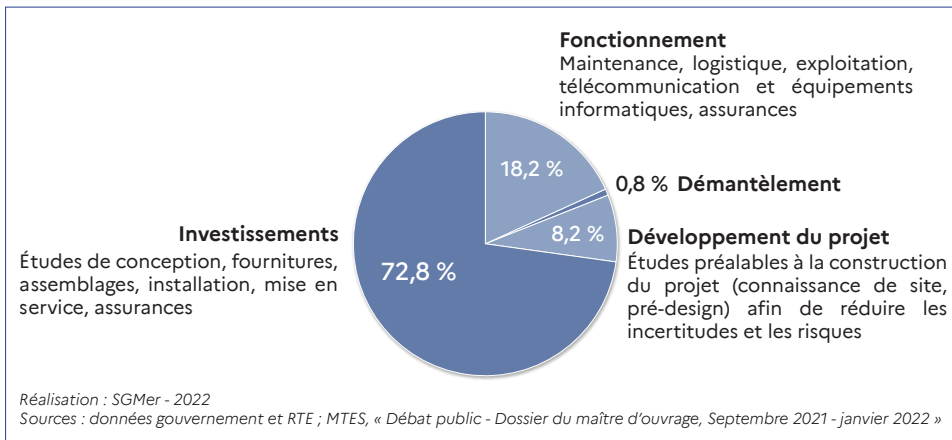


Figure n°17 : Les emplois de l'éolien en mer en France.

Au-delà de cette répartition schématique, le coût de déploiement d'un parc éolien posé dépend de nombreux facteurs : du gisement de vent, de la distance entre le parc et la côte, de la nature des fonds marins, de la profondeur (bathymétrie) et du relief du fond marin, ainsi que des choix technologiques.

À titre d'illustration, le coût des sept premiers projets de parcs éoliens en mer français de 500 MW chacun se situe entre 1,4 et 2,2 milliards d'euros. Les estimations de coûts réalisées pour les appels d'offres de 2011 ont été revues à la baisse ces dernières années du fait de la maturation de la filière¹²⁴, ce qui a mené à une renégociation des tarifs avec les porteurs de projet en 2018.

124 - À l'époque où les premiers appels d'offre avaient été lancés la filière industrielle française de l'éolien en mer était encore très jeune, les investissements menés par les porteurs de projet étaient plus coûteux et risqués.

Selon l'ADEME la baisse du coût de l'éolien en mer s'explique par différents facteurs¹²⁵ :

- L'effet d'échelle et l'augmentation de la puissance des éoliennes (puissance unitaire déjà augmentée de 30% depuis 2016). Par ailleurs, les usines de turbines et pales installées en France sont déjà construites et nécessiteront donc moins d'investissements ;
- Des infrastructures portuaires et industrielles adaptées : les premiers parcs ont permis la construction d'usines de turbines et de pales et l'aménagement de certains ports pour l'éolien en mer ;
- L'optimisation et la mutualisation des moyens d'exploitation et de maintenance ;
- Un cadre administratif adapté et flexible qui a fait l'objet de nombreuses réformes favorisant le développement de l'éolien en mer à moindre coût (autorisation environnementale unique, réforme du contentieux, simplification du régime d'assurance, mise en place du dialogue concurrentiel, etc.) ;
- La réalisation des premières études techniques et environnementales par l'État en amont de la procédure de mise en concurrence, puis délivrées aux candidats, ce qui leur permet de mieux connaître la zone et de mieux estimer le coût d'implantation du parc (depuis 2018) ;
- La prise en charge financière du raccordement par RTE (y compris le poste électrique en mer).

Une étude de BVG Associates et d'Innosea pour le compte de l'ADEME a identifié les perspectives de réduction des coûts de l'éolien en mer en France d'une situation de référence en 2015 jusqu'à l'horizon 2030 sur tous les éléments constituant la chaîne de valeur de l'éolien¹²⁶. Cette étude souligne que les réductions de coûts de déploiement de l'éolien en mer s'expliquent en grande partie par la réduction du coût des turbines (augmentation des performances, augmentation de la taille et la puissance des machines, industrialisation).

Malgré cette baisse tendancielle du coût global du déploiement de l'éolien en mer, certaines dépenses risquent d'augmenter dans les prochaines années. Cela est notamment le cas pour les coûts de raccordement.

Le coût du raccordement dépend de nombreux facteurs : la longueur du raccordement, sa tension électrique, la puissance à évacuer, la nature des sols, la disponibilité du foncier au niveau des postes électriques existants à terre ou encore les spécificités des atterrages sont autant de paramètres susceptibles d'influer sur les choix techniques retenus pour le projet de raccordement et donc sur son coût.

Les coûts liés au raccordement représentaient entre 10 et 15 % des coûts complets d'un projet éolien en mer pour les premiers appels d'offres attribués en France¹²⁷.

Les coûts liés au raccordement, très variables d'un projet à un autre, représentaient initialement une part limitée des coûts complets des premiers projets éoliens en mer attribués en France, soit en moyenne 300 millions d'euros par raccordement (hors poste en mer), pour des parcs d'une puissance installée moyenne de 500 MW et installés à environ une dizaine de kilomètres de la côte. La part du raccordement dans le coût complet des projets éoliens

125 - Site internet du débat public pour le projet éolien en mer en Sud Atlantique. https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-09/2021-09_Eolien_mer_Sud_Atlantique_DMO_Fiche17.pdf [Consulté le 07/07/2022].

126 - Site internet de la Fee, étude de BVG Associates et d'Innosea, *Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières*, mai 2017. <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2018/05/innovations-dans-l-eolien-rapport-final.pdf>

127 - Ces coûts sont estimés, hors poste électrique en mer, pour des distances de raccordement d'environ 30 km à 60 km et des puissances de l'ordre de 500 MW.

en mer va augmenter en raison du changement d'échelle des parcs qui vont passer d'une moyenne de 500 à 600 MW à 1GW. Par ailleurs les parcs éoliens en mer ont tendance à s'éloigner de plus en plus des côtes. À titre d'exemple, la zone retenue pour le quatrième appel d'offres éolien en mer se situe à environ 30 kilomètres des côtes normandes. La combinaison de ces deux facteurs (augmentation de la taille du parc et de la distance à la côte) entraînera une hausse du coût de raccordement. Du fait de la baisse tendancielle du coût des parcs, la part du coût de raccordement va augmenter ; il est estimé qu'il représentera entre 25 et 35 % du coût total des futurs projets éoliens en mer¹²⁸.

En planifiant à l'avance les prochains parcs à raccorder, les coûts peuvent être réduits grâce à la mutualisation des infrastructures de raccordement¹²⁹.

Le financement du coût de raccordement :

En 2017 et 2018, le cadre législatif et réglementaire pour le raccordement des projets éoliens en mer a fait l'objet d'une large transformation. Celle-ci a permis de fonder le régime français sur les meilleures pratiques observées en Europe, et de transférer au gestionnaire de réseau (RTE) la responsabilité des raccordements¹³⁰. De plus, un régime indemnitaire est maintenant prévu pour le développeur éolien en cas de retard ou d'indisponibilité du raccordement. Ces modifications ont comme principale conséquence de faire porter au gestionnaire de réseau, via le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE)¹³¹, le coût des raccordements. Le TURPE vise à assurer la neutralité du service rendu par les gestionnaires du réseau d'électricité pour tous les fournisseurs et à l'adresse de l'ensemble des particuliers et professionnels.

D. Le prix de l'électricité produite par les éoliennes en mer

Le tarif de l'électricité est fixé par le producteur lauréat de l'appel d'offre lors de la procédure de mise en concurrence. Le tarif doit respecter le plafond fixé par l'État dans le cahier des charges de l'appel d'offre.

Les principaux facteurs qui influenceront sur la définition du prix de référence sont notamment¹³² :

128 - Site internet du débat public pour le projet éolien en mer en Sud Atlantique. https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-09/2021-09_Eolien_mer_Sud_Atlantique_DMO_Fiche17.pdf [Consulté le 07/07/2022].

129 - Cela signifie que des parcs pourraient partager les mêmes infrastructures de raccordement en mer et à terre.

130 - Loi n° 2017-1839 du 30 décembre 2017 mettant fin à la recherche ainsi qu'à l'exploitation des hydrocarbures et portant diverses dispositions relatives à l'énergie et à l'environnement. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000036339396/>

131 - Le TURPE est présent sur la facture de tous les consommateurs (particuliers ou industriels) et son montant est fixé par la Commission de régulation de l'énergie (CRE), autorité administrative indépendante. Il permet de financer le réseau public de transport d'électricité géré par RTE ainsi que le réseau de distribution de l'électricité, géré par les entreprises locales de distribution. Il représente environ un tiers de la facture d'électricité d'un ménage.

132 - Site internet du débat public pour le projet éolien en mer en Sud Atlantique. https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-09/2021-09_Eolien_mer_Sud_Atlantique_DMO_Fiche13.pdf [Consulté le 07/07/2022].

- La force et la régularité du vent : une différence de 1 m/s en vitesse moyenne engendre une différence de 15 €/MWh environ sur le prix de référence de l'électricité ; la régularité du vent est en outre un facteur d'optimisation du facteur de charge des éoliennes ;
- La profondeur et les caractéristique du sous-sol marin : un sous-sol sédimentaire engendrera des coûts sensiblement moins élevés pour les fondations qu'un sous-sol rocheux, et facilitera l'ensouillage des câbles inter-éoliennes et des liaisons de raccordement ;
- Dans une moindre mesure, le marnage (différence entre le niveau minimum et maximum de la mer avec les marées) : plus il est faible, plus l'accès aux éoliennes pour la maintenance est facilité et la taille des fondations diminuée ;
- L'éloignement aux ports pour l'acheminement des éoliennes jusqu'à leur zone d'implantation ainsi que la maintenance : les coûts logistiques sont plus importants quand les rotations des navires pour la maintenance sont plus longues.

Par ailleurs, le partage des risques et des coûts entre l'industriel et les autres acteurs (État et RTE) influence également le tarif proposé par le développeur éolien. Ce partage a été rééquilibré par rapport aux premiers projets, afin de réduire les importantes marges de risques prévues dans les premiers appels d'offres, c'est notamment dans ce but que l'État et RTE réalisent des études techniques et environnementales en amont de la procédure de mise en concurrence. Les résultats de ces études sont transmis aux développeurs candidats avant le dépôt de leurs offres lors de la procédure de mise en concurrence ; ils leur fournissent un niveau d'information suffisant pour diminuer de manière significative le niveau de risque, et donc le prix demandé dans leurs offres. En outre, les documents de la procédure de mise en concurrence définissent très précisément le partage des responsabilités entre l'État, RTE et l'industriel. Ces éléments sont discutés lors du dialogue concurrentiel, ce qui permet à l'État d'optimiser le partage des risques avec l'industriel lauréat, pour obtenir les tarifs de soutien optimaux.

De manière générale, la baisse du coût de déploiement des éoliennes en mer et l'augmentation de leur capacité de production d'énergie¹³³ permet la réduction du coût de l'électricité produite. La filière française se développant, il est prévu que les prix pour l'éolien posé descendent sous la barre des 60 €/MWh d'ici 2025¹³⁴ (ensemble des coûts compris).

133 - L'augmentation de la capacité de production des éoliennes permet d'obtenir la même capacité de production avec moins d'unités mobilisées. Les parcs éoliens améliorent leur capacité de production et leur compétitivité, ce qui permet de réduire le coût du MWh.

134 - Site internet de l'ADEME Bretagne <https://bretagne.ademe.fr/retours-dexperience/energies-renouvelables-et-reseaux-de-stockage/eolien/eolien-en-mer-ou-offshore> [Consulté le 13/07/2022].

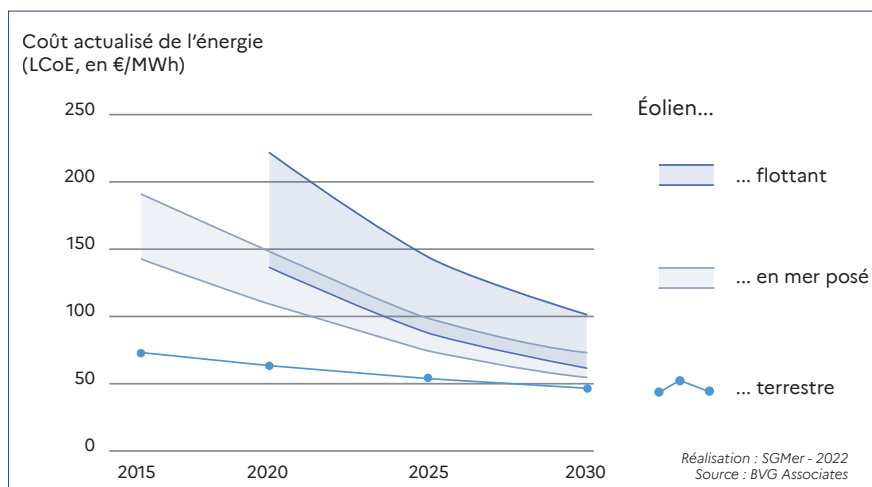


Figure n°18 : Estimation de l'évolution du coût actualisé de l'énergie (2015-2030).

E. Le système étatique de compensation tarifaire du prix de l'électricité des éoliens en mer

Le coût des énergies renouvelables, et notamment l'éolien en mer, a fortement baissé ces dernières années. Néanmoins, compte tenu de la variabilité des prix de marché, les investisseurs n'ont pas la certitude que les revenus issus de la vente de l'électricité compensent les coûts de construction et d'exploitation. En France, l'État accorde un soutien public au développement d'énergies renouvelables.

Les mécanismes de soutien public varient selon la date de l'appel d'offres ayant attribué le parc éolien en mer. Avant 2016 c'était le régime du tarif d'achat qui était mis en place. L'État rachète l'électricité à l'exploitant pour la revendre lui-même sur le marché. Dans le cadre de l'obligation d'achat, chaque kilowattheure injecté sur le réseau public d'électricité est acheté au producteur par un acheteur obligé (EDF Obligation d'Achat) à un tarif d'achat fixé à l'avance, puis vendu sur le marché. L'État compense la différence de prix. Ce dispositif est prévu par le code de l'énergie. Dans le cas où le prix de l'électricité sur le marché est supérieur au prix garanti par l'État, EDF-OA engrange donc des bénéfices, qui reviennent ensuite au budget général de l'État.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte de 2016¹³⁵, a modifié le soutien public, il est désormais versé sous la forme d'un complément de rémunération. Le producteur d'électricité commercialise son électricité directement sur les marchés ; l'action de l'État intervient uniquement en complément afin de compenser la différence entre les revenus tirés de cette vente et un niveau de rémunération de référence.

135 - LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385/>

Le complément de rémunération n'est donc pas fixe et s'ajuste en fonction de la différence entre le prix du marché et la rémunération de référence :

- L'exploitant vend directement son électricité puis reçoit de la part de l'État, ou verse à l'État, la différence entre le tarif sur lequel il s'est engagé lors de l'appel d'offres¹³⁶ et le prix de vente de son électricité sur le marché ;
- Si le producteur subit des ventes à prix négatifs sur un certain nombre d'heures consécutives, le producteur reçoit une prime calculée dans les conditions prévues dans le contrat de complément de rémunération ;
- Si les performances économiques du producteur sont supérieures à celles attendues dans le modèle financier établi dans le cahier des charges, le gain financier supplémentaire est partagé entre le producteur et l'État selon le mécanisme de prévention des risques de surcompensation établi dans le contrat de complément de rémunération.

Ainsi, deux régimes de soutien tarifaire coexistent aujourd'hui, l'obligation d'achat (contrats passés non encore achevés) et le complément de rémunération.

Grâce au développement rapide de la filière, le coût du soutien public par parc éolien en mer décroît progressivement. À terme, l'éolien en mer posé pourra être considéré comme une source de production d'énergie compétitive et des parcs pourront être développés sans soutien public (hors raccordement). Cela a notamment été le cas aux Pays-Bas où le premier parc sans dispositif de soutien public a été annoncé en 2019¹³⁷.

136 - Ce tarif de référence est fixé par le producteur, en respectant un plafond fixé par la CRE dans le cahier des charges de l'appel d'offre et dans le cadre de la procédure de mise en concurrence.

137 - Les sites I et II de HKZWFZ (740 MW), ont été attribués à Vattenfall (au travers de sa filiale Chinook CV) en mars 2018, dans le cadre de ce qui constituait alors le premier marché sans subvention au monde. La mise en service de ces sites devrait intervenir en 2022. Source : Site internet de la Direction générale du Trésor <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2019/07/25/eolien-en-mer-aux-pays-bas-vattenfall-est-retenu-pour-la-construction-et-l-exploitation-sans-subvention-d-un-deuxieme-parc-eolien-d-une-puissance-de-700mw-dans-la-zone-hollandse-kust-zuid> [Consulté le 18/07/2022].

4. La fiscalité

A. La redevance de l'occupation du domaine public maritime

Dans le cadre de l'occupation du domaine public maritime accordées à un opérateur d'éolien en mer et à RTE, ceux-ci doivent payer à l'État une redevance annuelle.

Les principes de calcul sont définis dans l'arrêté du 2 avril 2008 fixant le tarif des redevances dues pour l'occupation du domaine public de l'État par des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent et par leurs équipements accessoires¹³⁸ :

- Une partie fixe : 1000 euros par mât et 0,5 euro par mètre linéaire de raccordement pour le domaine public maritime (minimum 200 euros), 1 euro par mètre linéaire pour le domaine public terrestre (minimum 400 euros) ;
- Une partie variable : 4000 euros par mégawatt pour le domaine public maritime, 6000 euros par MW sur le domaine public terrestre.

À titre illustratif, la redevance des parcs éoliens en mer de Courseulles-sur-Mer et de Fécamp, s'élève respectivement à 2 million d'euros et 2,4 millions d'euros par an environ pour l'opérateur¹³⁹.

Sur le fondement de la loi du 1^{er} août 1953¹⁴⁰ et du décret du 27 janvier 1956¹⁴¹, une redevance forfaitaire est également due par RTE pour ses ouvrages de transport d'électricité situés sur le domaine public maritime.

138 - Arrêté du 2 avril 2008 fixant le tarif des redevances dues pour occupation du domaine public de l'État par des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent et par leurs équipements accessoires. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000018686024>

139 - Site internet du débat public pour le projet éolien en mer au large de la Normandie <https://eolmernormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-4-quel-interet-pour-les-normands.pdf> [Consulté le 18/07/2022].

140 - Loi n°53-661 du 1 août 1953 fixant le régime des redevances dues pour l'occupation du domaine public par les ouvrages de transport et de distribution d'électricité et de distribution de gaz, par les lignes ou canalisations particulières d'énergie électrique et de gaz. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000875138/>

141 - Décret n°56-151 du 27 janvier 1956 portant RAP pour l'application de la loi 53661 du 1 août 1953 en ce qui concerne la fixation du régime des redevances pour l'occupation du domaine public par les ouvrages de transport et de distribution et par les lignes de canalisations particulières d'énergie électrique <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000330307>

La redevance en zone économique exclusive

Concernant les parcs éoliens situés en ZEE, l'ordonnance de 2016 relative à la ZEE¹⁴² prévoit une redevance dont le montant est intégralement reversée à l'Office français de la biodiversité¹⁴³. Les modalités de calcul de la redevance ont été définies par l'arrêté du 8 mars 2022¹⁴⁴.

Le calcul de la redevance est similaire à celui prévu sur le domaine public maritime, à l'exception du fait que son montant peut être majoré si le périmètre de l'installation recoupe une aire marine protégée, et que la longueur des câbles inter-éoliennes n'est pas prise en compte dans un objectif de simplification.

La redevance est également due par RTE pour le poste électrique en mer, à hauteur de 10 000 euros par plateforme.

À noter ; la redevance demandée pour l'occupation du domaine public maritime et de la ZEE peut être suspendue pendant la durée du contrat de complément de rémunération afin d'éviter des flux financiers croisés entre l'État et le porteur de projet. Toutefois, dès la fin du soutien public, le porteur de projet doit payer la redevance chaque année¹⁴⁵.

B. La taxe éolienne en mer

Les parcs éoliens en mer sont soumis à la taxe annuelle sur les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent situées dans les eaux intérieures ou la mer territoriale, prévue à l'article 1519 B du code général des impôts¹⁴⁶. La taxe est acquittée par l'exploitant de l'unité de production. La taxe est assise sur le nombre de mégawatts installés dans chaque unité de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au 1^{er} janvier de l'année d'imposition. Elle n'est pas due l'année de la mise en service de l'unité. Le tarif annuel de la taxe est fixé à 18 605 euros par mégawatt installé¹⁴⁷ et est indexée sur l'inflation. Ce montant est en effet revalorisé chaque année comme le taux prévisionnel, associé au projet de loi de finances de l'année, d'évolution des prix à la consommation des ménages, hors tabac, pour la même année.

Le produit de la taxe est, sur le domaine public maritime, affecté au fond national de compensation de l'énergie éolienne en mer. Les ressources du fonds sont réparties entre plusieurs bénéficiaires¹⁴⁸ :

142 - Ordonnance n° 2016-1687 du 8 décembre 2016 relative aux espaces maritimes relevant de la souveraineté ou de la juridiction de la République française <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000033553233/>

143 - Article 27 de l'ordonnance n° 2016-1687 du 8 décembre 2016 relative aux espaces maritimes relevant de la souveraineté ou de la juridiction de la République française.

144 - Arrêté du 8 mars 2022 fixant le tarif des redevances dues pour l'exploitation du plateau continental ou de la zone économique exclusive par des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent et par leurs équipements accessoires et par les ouvrages de raccordement de ces installations <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045441791>

145 - Site internet des éoliennes en mer <https://www.eoliennesenmer.fr/generalites-eoliennes-en-mer/cadre-reglementaire> [Consulté le 18/07/2022].

146 - Article 1519 B code général des impôts. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000044982733/2022-01-01

147 - Loi n° 2021-1900 du 30 décembre 2021 de finances pour 2022 <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000044794512/2022-01-01/>

148 - Site internet des éoliennes en mer https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche14_WEB_0.pdf [Consulté le 18/07/2022].

- 50 % sont affectés aux communes littorales d'où les installations sont visibles. Il est tenu compte, dans la répartition de ce produit entre les communes, de la distance qui sépare les installations de l'un des points du territoire des communes concernées et de la population de ces dernières ;
- 35 % des fonds sont versés aux comités des pêches et des élevages marins (15% au comité national, 10 % au comité régional, 10 % au comité départemental s'il existe, sinon les fonds reviennent au comité régional) mentionnés à l'article L. 912-1 du code rural et de la pêche maritime, pour le financement de projets concourant à l'exploitation durable des ressources halieutiques. Ces projets sont présentés par les comités départementaux ou interdépartementaux ou les comités régionaux concernés par le développement de l'énergie éolienne en mer ainsi que par le comité national lorsque ces projets sont d'intérêt transrégional ;
- 10 % sont affectés, à l'échelle de la façade maritime, à l'Office français de la biodiversité ;
- 5 % sont affectés aux organismes de secours et de sauvetage en mer.

Initialement ce régime fiscal ne s'appliquait pas à la zone économique exclusive (ZEE), l'article 101 de la loi n° 2021-1900 du 30 décembre 2021 a modifié le cadre juridique¹⁴⁹. Désormais, à compter du 1^{er} janvier 2022, cette taxe s'applique également aux parcs éoliens situés en ZEE. L'objectif était de clarifier le cadre fiscal en ZEE avant l'élaboration des offres des candidats à l'appel d'offres pour le projet éolien centre Manche 2 (l'AO 8), le premier projet français à être situé en ZEE.

Le produit de la taxe appliqué aux parcs éoliens situés en ZEE sera affecté, à la différence de la taxe sur le domaine public maritime, au budget général de l'État. L'exposé des motifs de l'amendement prévoit que « le produit de la taxe serait affecté à des actions relatives à la connaissance et la protection de la biodiversité marine, à l'exploitation et la transformation durable de produits halieutiques, au développement d'autres activités maritimes et à la sûreté maritime »¹⁵⁰.

149 - LOI n° 2021-1900 du 30 décembre 2021 de finances pour 2022. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000044637640>

150 - Site internet de l'Assemblée nationale, 8 novembre 2021, PLF POUR 2022 - (N° 4482), amendement N°II-3525. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/amendements_alt/4482C/AN/3525

C. Taxe d'archéologie préventive

L'article L524-2 du Code du patrimoine a étendu la taxe d'archéologie préventive (TAP) aux projets en mer. Cette redevance est due par les personnes projetant d'effectuer des travaux affectant le sous-sol¹⁵¹. Cette taxe s'impose aux opérateurs sur secteur privé dont les activités ont un effet sur le sol ou le sous-sol marin afin de s'assurer qu'aucun élément archéologique relevant du patrimoine national ne se trouve sur les zones choisies.

Cette taxe n'est pas due si l'emprise des constructions a déjà fait l'objet d'une opération visant à la détection, à la conservation ou à la sauvegarde par l'étude scientifique du patrimoine archéologique, réalisée dans des conditions fixées par décret en Conseil d'État. Par ailleurs, en cas de demande volontaire de réalisation de diagnostic, le montant de la taxe d'archéologie préventive acquittée à ce titre est déduit du montant dû pour la réalisation de l'aménagement.

D. Autres impôts et taxes

Les installations d'éoliennes en mer et leurs ouvrages de raccordement constituent également des sources de retombées fiscales non spécifiques aux énergies renouvelables en mer, comme toute activité industrielle ou commerciale : il s'agit notamment de l'impôt sur les sociétés, versé par les entreprises exploitant les parcs éoliens en mer aux services de l'État.

Plusieurs impôts locaux s'appliquent également comme :

- La taxe foncière qui bénéficie aux collectivités d'accueil (communes, département) et s'applique au poste de raccordement ou de compensation ;
- La contribution économique territoriale, composée de la cotisation foncière des entreprises (CFE) et la cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE), est reversée aux collectivités (communes, intercommunalités, département, région) ;
- La taxe IFRER (imposition forfaitaire sur les entreprises de réseau), applicable au poste de raccordement au réseau, répartie entre les collectivités (communes, intercommunalités, département, région).

151 - Lorsque la taxe est perçue sur des ouvrages, travaux ou aménagements situés dans le domaine public maritime au-delà d'un mille à compter de la ligne de base de la mer territoriale ou dans la zone contiguë, son montant est égal à 0,10 € par mètre carré. En deçà, il convient d'appliquer le taux « terrestre » fixé à 0,50 € par mètre carré. Pour les installations de production et de transport d'énergie, la surface prise en compte est constituée d'une bande de 100 mètres de part et d'autres des câbles.

IV. Les enjeux sociaux et environnementaux

1. Les effets des éoliennes en mer sur le milieu marin

A. Les principaux effets identifiés

La mise en place d'un parc éolien pose la question de sa capacité à concourir ou maintenir les objectifs de préservation du patrimoine naturel marin. La problématique est d'autant plus aiguë lorsqu'un parc éolien est développé à l'intérieur de ou à proximité immédiate de plusieurs aires marines protégées, comme c'est le cas pour le projet en Sud-Atlantique (à proximité du parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis).

La mise en place d'un parc éolien se traduit potentiellement par des effets très variés sur l'environnement marin et sa biodiversité. Trois impacts majeurs susceptibles d'affecter l'environnement marin ont été identifiés par l'Office français de la biodiversité (OFB) :

L'impact du bruit sous-marin en phase de travaux

Durant la phase de chantier, les travaux génèrent du bruit sous-marin susceptibles de perturber la faune marine. Ces bruits sous-marins peuvent — sans mesures ERC spécifiques - perturber les comportements mammifères marins¹⁵², entraîner une perte permanente ou temporaire d'audition, mettant en danger la survie des mammifères marins. À titre d'illustration l'OFB estime que dans le cadre de l'installation du parc de Centre Manche (AO8) le battage d'un pieu de sept mètres de diamètre en baie de Seine entraînerait, sans mesure de réduction de bruit, une perte d'audition temporaire pour un marsouin commun dans les trois kilomètres du pieu, cela modifierait le comportement du marsouin dans les 21 kilomètres à la ronde¹⁵³. Afin d'amoinrir le bruit en phase de chantier et durant les opérations de battage de pieu, les développeurs pratiquent le *soft start*. Ce *soft start*, visant à augmenter de manière progressive l'intensité du battage de pieu, a pour vocation d'éloigner les mammifères marins de la zone de chantier. D'autres

152 - Les bruits sous-marins peuvent perturber le système de communication et d'orientation des mammifères marins.

153 - Site internet des éoliennes en mer. <https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2022/05/AO8%20-%20Cahier%20d%27acteur%20OFB.pdf> [Consulté le 19/07/2022].

mesures peuvent être prises pour limiter les effets sonores avant le démarrage des travaux tel que l'utilisation d'effaroucheurs et la surveillance de la zone de travaux pour faire fuir les mammifères marins. Plusieurs techniques permettent de limiter les ondes au moment des travaux sur les monopieux : l'usage d'un rideau de bulles¹⁵⁴, de blocs isolants¹⁵⁵ ou encore de batardeaux¹⁵⁶. Ces différentes techniques ont été utilisées lors de l'installation de plusieurs parcs éoliens en mer du Nord et en France, elles ont permis une importante réduction du bruit sous-marin produit¹⁵⁷ comme l'ont montré les suivis environnementaux en phase chantier.

Les bruits sous-marins sont également présents durant la phase d'exploitation du parc éolien quoique d'une intensité bien plus faible que durant la phase de chantier. En effet la rotation de l'éolienne fait vibrer l'intégralité de la structure et génère des vibrations sous-marines¹⁵⁸. La fondation en monopieu diffuse le bruit de façon plus importante que les autres technologies. Toutefois, « de manière générale, les études existantes tendent à montrer que les réactions comportementales des mammifères marins provoquées par le bruit des éoliennes en fonctionnement seraient faibles, et n'apparaîtraient qu'à faible distance des éoliennes »¹⁵⁹.

Ces perturbations sonores risquent de se cumuler avec celles d'activités déjà existantes et d'amplifier la perturbation des mammifères marins, ces derniers pourraient à terme désertir la zone.

La perte ou la modification d'habitats marins sur les fonds marins

Le principal impact de l'éolien en mer sur les habitats benthiques (du fond marin) est lié à l'installation de structure permanente sur les fonds. Ainsi, la pose de fondations, d'ancres ou d'enrochements pour un parc éolien détruit durablement les fonds où ces structures sont installées. De par leur taille plus importante, les fondations gravitaires détruisent ainsi de plus grandes surfaces d'habitats. Des opérations de travaux, notamment l'enfouissement des câbles (dans des sédiments meubles ou durs comme récemment à Saint-Brieuc), peuvent également perturber ponctuellement les habitats. Globalement ces

154 - Les rideaux de bulles représentent la méthode de réduction du bruit à la source la plus largement répandue pour les sources sonores fixes (battage de pieux et vibrofonçage, forage, usage d'explosifs principalement). Le principe est simple : de l'air comprimé est injecté dans des tuyaux perforés, l'air ainsi évacué forme un nuage de bulles. Le contraste d'impédance acoustique causée par l'interface air/eau entraîne la diffusion des ondes sonores à travers les bulles d'air, et la réflexion des ondes au niveau du rideau ainsi formé permet de réduire le bruit généré.

155 - Le concept des blocs isolants consiste à confiner la source de bruit (pieu à battre dans la plupart des cas) dans des enveloppes cylindriques en acier ou en plastique recouvertes de matériaux isolants pour réduire le bruit. Certaines technologies incluent un rideau de bulles à l'intérieur des enveloppes.

156 - Les batardeaux sont des blocs isolants visant à créer un espace sans eau autour du pieu. Le pieu est placé à l'intérieur d'une coque en acier plus grande que son propre diamètre et des pompes évacuent l'eau entre les 2 structures. L'onde reste alors confinée dans la coque de par la différence d'impédance entre l'air et l'eau.

157 - Ministère de la transition écologique et solidaire, *Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine*, juin 2020, <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20preconisations%20pour%20limiter%20l%20impact%20des%20bruits%20sous-marins%20sur%20la%20faune%20marine.pdf>

158 - L'OFB estime qu'une turbine de 6 MW sur une fondation monopieu génère des vibrations de basse fréquences pouvant être audibles sur une vingtaine de kilomètres.

159 - P. T. Madsen, M. Wahlberg, J. Tougaard, K. Lucke, P. Tyack, « *Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs* », *Marine Ecology progress series*, Vol. 309 : 279-295, 15 mars 2006

perturbations et destructions d'habitats sont très localisées. L'État et les développeurs veillent à ne pas localiser les installations sur des habitats remarquables.

En phase d'exploitation les structures immergées peuvent également modifier très localement les conditions hydrodynamiques.

Les structures immergées (fondations, flotteurs, ancrage des éoliennes ou enrochements) peuvent constituer un nouveau substrat pour de nombreuses espèces qui vont ainsi coloniser les structures. On parle d'effet récif. Cette colonisation va entraîner une modification des écosystèmes tels qu'ils existaient jusqu'alors, faisant évoluer les communautés biologiques associées. Une augmentation de la biomasse totale est attendue, mais dans des proportions et des compositions difficiles à anticiper. Ceci peut avoir des conséquences sur les chaînes alimentaires (relations proie/prédateur) et sur le degré d'abondance des différentes espèces. Les retours sur expérience des parcs installés depuis plusieurs années montrent un bilan environnemental globalement neutre voire légèrement positif sur les écosystèmes, si l'on se fie aux cas belges¹⁶⁰.

La collision, et la perte de zones fonctionnelles pour les oiseaux

Les oiseaux peuvent potentiellement entrer en collision avec les éoliennes (essentiellement les pales). Un parc éolien en mer est aussi susceptible de réduire le domaine vital de population d'oiseaux marins s'il est installé sur une zone fonctionnelle (zone d'alimentation, de repos). L'installation d'un parc peut également perturber les couloirs migratoires des oiseaux, on parle alors d'effet barrière. Les oiseaux côtiers peuvent également être affectés par les travaux d'installation des câbles de raccordement électrique, notamment si ces derniers sont effectués pendant la période de nidification. L'étude d'impact demandée au porteur de projet en amont de la délivrance des autorisations vise précisément à limiter au maximum l'occurrence de ces impacts, en définissant les enjeux précis de la zone et en concevant un projet adapté à l'espace visé. Au préalable, l'exercice de planification des parcs éoliens en mer dans l'espace maritime doit mettre en œuvre le principe clef d'évitement, le plus efficace pour l'avifaune.

La recherche scientifique n'est aujourd'hui pas complètement en mesure de répondre à l'ensemble de ces impacts, dont la littérature tend à montrer qu'ils sont limités¹⁶¹. Néanmoins, plusieurs modifications techniques peuvent améliorer la situation : le rehaussement des éoliennes (hauteur de garde), la création de couloirs de passage, la différenciation des couleurs des pales (travaux de recherche en cours)¹⁶² ou encore la régulation de la vitesse de rotation lors des pics migratoires.

160 - Institut royal des sciences naturelles de Belgique, <https://odnature.naturalsciences.be/mumm/en/windfarms/>

161 - Carbon Trust, « *Pioneering study finds seabirds avoid offshore wind turbines much more than previously predicted* » <https://www.carbontrust.com/news-and-events/news/pioneering-study-finds-seabirds-avoid-offshore-wind-turbines-much-more-than>

162 - Le changement de couleur de la moitié des pales (les pales étaient initialement blanches et ont été peintes en noires) des éoliennes de l'île de Smøla (Norvège) a permis de réduire la mortalité moyenne des oiseaux de 71%. Source : Ecology and evolution n° 10 *Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities*, Roel May, Torgeir Nygård, Ulla Falkdalen, Jens Åström, Øyvind Hamre, Bård G. Stokke, juillet 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.6592>

B. Anticiper les effets

Au regard de l'ensemble de ces enjeux, la localisation du futur parc éolien doit être choisie de manière à prévenir autant que possible ces potentiels impacts. L'élaboration du projet doit suivre la séquence ERC (Éviter - Réduire - Compenser) afin de définir des mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces impacts et des protocoles pour leur suivi.

La séquence ERC :

La séquence ERC a été introduite dans le droit français par la loi relative à la protection de la nature de 1976¹⁶³, elle a été par la suite consolidée et précisée en août 2016 par deux textes ; la loi reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages¹⁶⁴ (qui ajoute dans le code de l'environnement des principes forts tels que la nécessaire effectivité des mesures ERC, et des modalités de suivi plus précises), et l'ordonnance sur l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes¹⁶⁵ (qui développe une prise en compte plus globale de l'évaluation des impacts sur l'environnement).

L'ordre de la séquence « éviter, réduire, compenser » traduit une hiérarchie : il s'agit tout d'abord d'éviter les impacts du projet, ensuite de réduire ceux qui n'ont pu être suffisamment évités, et enfin, le cas échéant, de compenser ceux qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits.

La démarche ERC a pour objectif d'intégrer la prise en compte des enjeux environnementaux et des autres usages le plus tôt possible dans la vie d'un projet¹⁶⁶. Elle correspond à une mise en œuvre opérationnelle des principes de prévention, du principe d'action préventive et de précaution.

La démarche ERC doit irriguer l'ensemble du déploiement d'un parc éolien en mer :

- L'élaboration du DSF doit permettre d'identifier les zones ayant vocation à accueillir des projets éoliens en mer. Les zones sont définies à partir des enjeux environnementaux et socio-économiques.
- Le débat public doit permettre d'identifier la ou les zone(s) préférentielle(s) pour les projets éoliens à partir des enjeux et des sensibilités étudiées.
- Les zones retenues à l'issue du débat sont affinées suite à des campagnes de mesures environnementales sur site.
- La réalisation de l'étude d'impact par le lauréat doit permettre de proposer des mesures ERC.
- L'instruction de la demande d'autorisations par le préfet permet aux services de l'État d'examiner les mesures ERC proposées par le lauréat et si besoin de les modifier pour l'octroi de l'autorisation environnementale..
- Durant les phases de construction et d'exploitation du projet, le lauréat met en œuvre les mesures ERC qui ont été définies. Les résultats des mesures de suivi sont analysés dans le cadre de commissions de suivi.

Toute mesure ERC doit faire l'objet d'un suivi, imposé par la réglementation, afin de justifier de la mise en place des mesures et de leur efficacité. Ce suivi doit donc répondre à un objectif précis, et permettre d'évaluer les résultats obtenus vis-à-vis de ceux attendus et durant l'exploitation du parc. En d'autres termes, le suivi doit permettre d'appréhender l'évolution du milieu et des espèces durant le chantier, et de définir si les mesures ERC planifiées ont eu l'effet escompté. Le type de suivi, sa fréquence, son emprise, ses modalités de mise en œuvre mais également le type d'analyse effectué, dépendent du projet lui-même, des espèces présentes et de l'intérêt écologique du secteur. Les suivis doivent donc permettre de vérifier si un impact a été observé ou non, généralement en réponse à un état initial réalisé en amont des travaux. Les suivis permettent également de proposer des évolutions aux mesures ERC si celles-ci ne sont pas suffisamment efficaces.

163 - Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006068553/>.

164 - LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033016237>

165 - Ordonnance n° 2016-1058 du 3 août 2016 relative à la modification des règles applicables à l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes <https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000032971805/>

166 - La séquence ERC dépasse la seule prise en compte de la biodiversité, pour englober l'ensemble des thématiques de l'environnement (air, bruit, eau, sol, santé des populations...).

Afin de mieux identifier les effets cumulés et harmoniser les bonnes pratiques, le CIMer 2019¹⁶⁷ a acté la mise en la création d'un comité scientifique de façade chargé du suivi environnemental des parcs éoliens situés sur une même façade. Le but de cette mesure est d'augmenter la cohérence du suivi en améliorant la prise en considération des effets cumulés.

2. Les potentiels conflits d'usage de l'espace maritime

La construction de parcs éoliens en mer soulève l'enjeu du partage de l'espace maritime. L'espace maritime accueille de nombreuses activités : pêcheurs (professionnels et amateurs), navires de commerce ou militaires, ferries, bateaux de plaisance, extraction de granulats marins, conchyliculteurs, vacanciers, riverains... Chaque acteur ayant besoin d'une partie de l'espace maritime, ce cumul d'activités peut générer des conflits d'usage sur cet espace. À ces contraintes d'usage s'ajoutent les zones naturelles protégées, à fort patrimoine écologique ou d'intérêt archéologique, les zones de protection autour des radars...

La réussite du projet éolien dépend largement de la concertation en amont de sa mise en œuvre avec l'ensemble des acteurs concernés. Ainsi la planification de l'espace maritime (prévue dans les DSF) et les différentes phases de concertation avec le public et les acteurs concernés sont essentielles à la bonne mise en œuvre d'un parc éolien en mer.

Le schéma d'implantation des installations peut être conçu de manière à permettre certains usages dans le parc. Dans une logique de conciliation des usages, l'État français souhaite en effet que certaines pratiques puissent se poursuivre dans les parcs éoliens en mer en exploitation. Ainsi, la plaisance et la pêche sont autorisées sous certaines conditions (notamment limitation de vitesse et de taille des navires, utilisation d'AIS) dans le parc de Saint-Nazaire.

167 - Site internet du Gouvernement, dossier de presse CIMer 2021. https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2019/12/dossier_de_presse_cimer_2019.pdf [Consulté le 20/07/2022].

3. L'enjeu de l'acceptabilité du projet éolien en mer

L'installation d'un parc éolien en mer modifie l'environnement marin. Ce paramètre peut être difficilement accepté par des populations locales qui craignent d'importantes perturbations de l'écosystème marin, une perte des activités traditionnelles, ainsi qu'une co-visibilité à la côte (à la fois diurne et nocturne).

L'adhésion au projet doit faire l'objet d'une attention particulière. La bonne appropriation du projet par les riverains est un facteur clé pour améliorer l'acceptabilité du parc, les phases de concertation avec le public (débat public, enquête publique) sont essentielles pour trouver des réponses concrètes aux griefs ou desiderata les plus fréquemment exprimés envers le projet. D'autres canaux de communication peuvent également être mis en place comme le développement de plateformes digitales permettant de déposer des avis, l'organisation de rencontres locales avec les porteurs du projet. À terme, des actions pédagogiques comme l'organisation de visites du parc éolien ou des usines de construction peuvent être organisées afin de renforcer l'intégration des riverains au projet.

Afin de renforcer l'adhésion des locaux au projet, l'accent doit également être mis sur les synergies positives que génèrera l'activité du parc éolien pour le territoire : création d'emplois locaux, retombées économiques et fiscales liées à l'implantation de nouvelles activités industrielles, renforcement de l'indépendance énergétique.

Le renforcement de l'acceptabilité du projet peut également reposer sur des modifications concrètes du design du projet (pour permettre la coexistence des usages comme la pêche) ou des optimisations techniques comme la mise œuvre de nouveaux balisages lumineux (si la réglementation le permet) permettant de réduire les nuisances visuelles, ou un éloignement plus important du littoral.

Partie 2

Les autres
énergies marines
renouvelables

I. L'hydrolienne

L'hydrolienne est une sorte d'éolienne sous-marine qui permet d'exploiter l'énergie cinétique contenue dans les courants associés au déplacement des masses d'eau qui accompagne le phénomène des marées. La puissance de l'hydrolienne dépend du diamètre de sa turbine et de ses pales, ainsi que de la vitesse du courant de marée.



Figure 1 : Hydrolienne utilisée pour le programme PHARE au large de Ouessant.

Source : Sabella.

Contrairement aux vents, les courants marins sont prévisibles à long terme (le courant de marée se retourne régulièrement de façon sinusoïdale, avec des amplitudes connues, variables avec la lune). L'énergie produite par l'hydrolienne est de ce fait plus stable que l'énergie produite par les éoliennes en mer.

Du fait de ses importants courants marins, l'Europe possède un important potentiel hydrolien. La stratégie européenne pour le développement des énergies marines renouvelables considère possible d'atteindre une capacité installée de 100 MW d'énergies océaniques (hydrolien et houlomoteur essentiellement) d'ici 2025¹⁶⁸.

168 - Site internet de la Commission Européenne, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_2096 [Consulté le 04/07/2022].

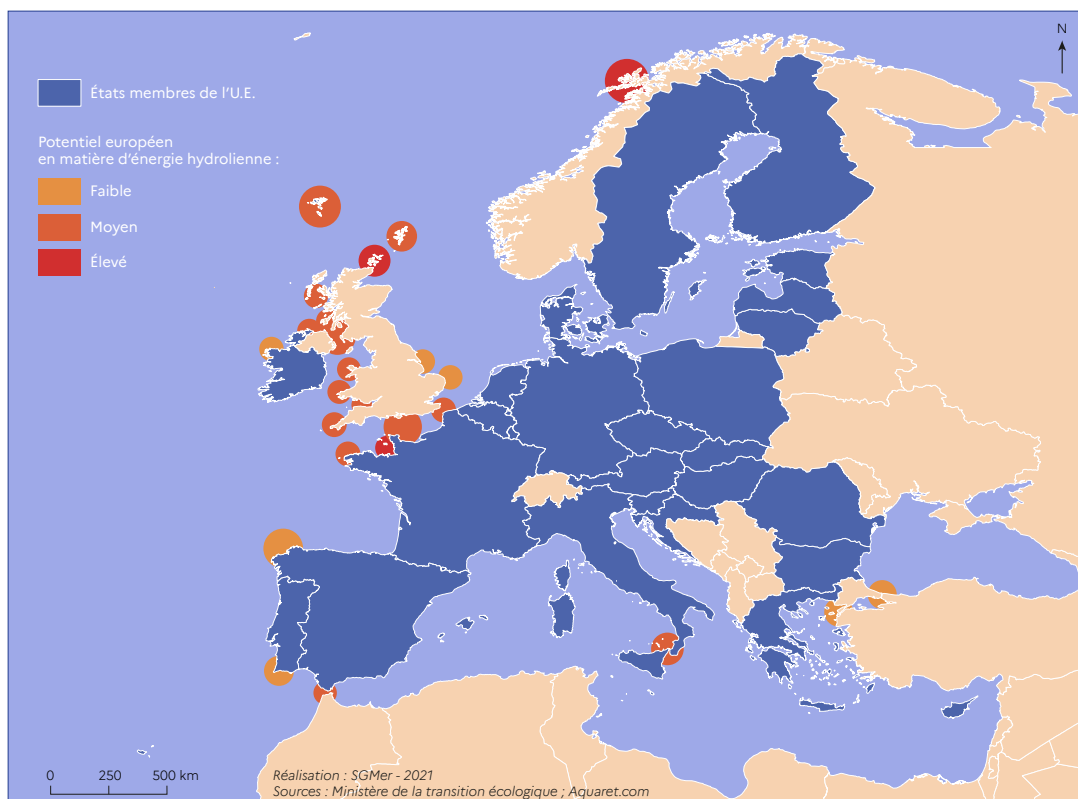


Figure n°2 : le potentiel européen en matière d'énergie hydrolienne.

Le développement de cette technologie s'appuie sur des outils industriels déjà existants soit dans la filière de l'éolien en mer (génératrices direct drive à aimants permanents, connecteurs subaquatiques) soit dans les chantiers navals (convertisseurs, composants électrotechniques, sous-ensemble des embases gravitaires...) ¹⁶⁹ ce qui lui permettait une phase d'industrialisation rapide. L'hydrolienne n'est pas pour l'instant une technologie mature, aucun parc industriel n'est prévu à l'échelle européenne mais plusieurs projets se développent. Plusieurs voient notamment le jour en Ecosse, comme le projet MeyGen développé dès 2010, d'une capacité installée de 398 MW ¹⁷⁰.

La France possède le deuxième potentiel hydrolien européen (derrière le Royaume-Uni). L'ADEME estime que l'énergie hydrolienne en France représente 3,5 GW, principalement réparti sur cinq sites : le Raz Blanchard, le Raz de Barfleur, le Passage du Fromveur, la chaussée de Sein et sur les Héaux de Bréhat. La première usine d'assemblage d'hydroliennes au monde a été inaugurée en 2018 à Cherbourg. Elle est en mesure de produire 25 turbines par an.

Plusieurs projets d'hydroliennes se développent en France, les principaux étant :

169 - Comité de prospective de la CRE, rapport *Les énergies marines*, juin 2021. <https://www.eclairerlavenir.fr/etude-sur-les-perspectives-strategiques-dans-le-secteur-de-lenergie/> [Consulté le 04/07/2022].

170 - Site internet de Simec Atlantis Energy <https://simecatlantis.com/tidal-stream/meygen/> [Consulté le 21/07/2022].

- Le projet PHARE (porté par l'ADEME en partenariat avec Akuo Energy et Sabella) développe un modèle énergétique hybride mutualisant trois énergies renouvelables (hydrolienne, éolienne, photovoltaïque). Une ferme pilote hydrolienne composée de deux hydroliennes de 15 mètres de diamètre et de 500 KW de puissance a été mise en œuvre. À terme l'objectif de ce programme est d'introduire 65% d'énergie renouvelable dans le mix électrique de l'île de Ouessant (qui dépend aujourd'hui pour sa consommation de l'import de 1600 tonnes de fioul par an qui sont ensuite utilisées pour alimenter une centrale thermique)¹⁷¹.
- Le projet Hydroquest a permis l'immersion du démonstrateur marin Oceanquest de 1 MW pendant plus de 2 ans au large de Paimpol-Bréhat. Ce projet a permis de tester une immersion en conditions réelles et ainsi de renforcer les connaissances scientifiques et techniques concernant la résistance de l'hydrolienne aux forts courants marins et de tester les raccordements au réseau électrique.
- Le projet INTERREG France (Manche) – Angleterre TIGER¹⁷² lancé en 2019 a pour objectif de développer d'ici juin 2023 une capacité hydrolienne de 8,8 MW. Plusieurs projets sont aujourd'hui en cours de conception en France notamment dans le Golfe du Morbihan, et dans le Raz Blanchard (au large de Cherbourg).

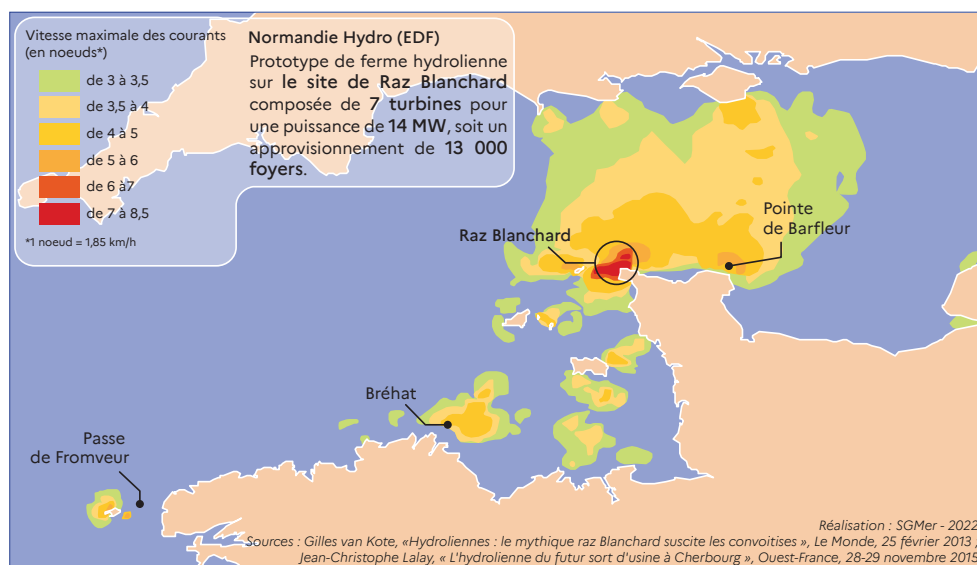


Figure n°3 :
le site de Raz Blanchard.

171 - Site internet de Akuo energy <https://www.akuoenergy.com/fr/phares> [Consulté le 21/07/2022].

172 - Le projet Tidal Stream Industry Energiser, connu sous le nom de « TIGER » est le plus important projet INTERREG. Le projet TIGER coûte 45,4 millions d'euros, dont 29,9 millions d'euros (soit 66%) sont financés par le Fonds européen de développement régional via le programme Interreg France (Manche) Angleterre. Le projet TIGER a pour but de créer des partenariats transfrontaliers entre la France et l'Angleterre pour développer de nouvelles technologies hydrolienne, et les tester dans différents sites. Le projet vise à fournir de nouveaux modèles de turbines plus efficaces et moins chères, ainsi que des infrastructures connexes et des équipements auxiliaires, afin d'améliorer la rentabilité économique de l'énergie hydrolienne. Le projet TIGER a été lancé en octobre 2019 et se termine en 2023. Source : Site internet du projet TIGER <https://interregtiger.com/fr/about-tiger/> [Consulté le 21/07/2022].

II. L'énergie houlomotrice

Cette forme d'énergie permet d'exploiter l'énergie potentielle liée au déplacement vertical des particules d'eau ainsi que l'énergie cinétique liée à la vitesse des particules d'eau des vagues et de la houle.

Il existe différents dispositifs permettant d'exploiter cette énergie, certains sont immergés, d'autres sont installés en surface, sur le rivage ou au large. Les systèmes de capture d'énergie varient d'un prototype à un autre : capture d'énergie mécanique en surface (ondulations) ou sous l'eau (translations ou mouvements orbitaux), capture des variations de pression au passage des vagues (variations de hauteur d'eau) ou encore capture physique d'une masse d'eau (via une retenue).

Les principaux systèmes d'énergie houlomotrice sont¹⁷³ :

- **La chaîne flottante articulée (ou « serpent de mer »)**, système composé d'une suite de longs flotteurs qui se positionnent sur les vagues. Les flotteurs sont attachés au sol par un câble sous-marin. Le mouvement des vagues crée une oscillation du câble. Cette oscillation permet d'ouvrir et de fermer des articulations. Les articulations permettent à l'eau d'intégrer le système et de faire tourner une turbine.
- **Le capteur de pression immergé**, système composé d'un bloc posé au sur le fond marin. Le mouvement des vagues permet d'activer des capteurs. Les capteurs permettent de faire rentrer de l'eau. L'eau permet de faire tourner une turbine.
- **La paroi oscillante immergée**, système composé d'un bloc posé sur le fond marin. Sur le bloc est fixée une paroi qui s'incline de droite à gauche grâce aux mouvements des vagues. Ces oscillations permettent d'actionner des pompes qui absorbent de l'eau. L'eau permet de faire tourner une turbine.
- **La colonne d'eau**, système composé d'une structure flottante en acier ou en béton, possédant une colonne (dont l'ouverture est située dans la mer). Le mouvement des vagues fait monter et descendre le niveau de l'eau dans la colonne. Cela a pour effet de comprimer et de décompresser alternativement de l'air emprisonné dans la partie supérieure de la colonne. L'air active alors une turbine bidirectionnelle pour produire de l'électricité. Ce système peut être installé au large ou sur le rivage.
- **La génératrice piézoélectrique**, le système est constitué d'une structure souple qui se déforme lorsqu'elle subit un mouvement, permettant ainsi de créer de l'électricité. Ce système permet de créer de l'électricité à partir d'un mouvement très lent.

Ces différents systèmes sont actuellement à l'étude, certains sont déjà commercialisés mais aucun n'est arrivé au stade de la maturité industrielle.

173 - Site internet Connaissances des énergies <https://www.connaissancesdesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues> [Consulté le 21/07/2022].

L'Europe possède un important potentiel en matière d'énergie houlomotrice.

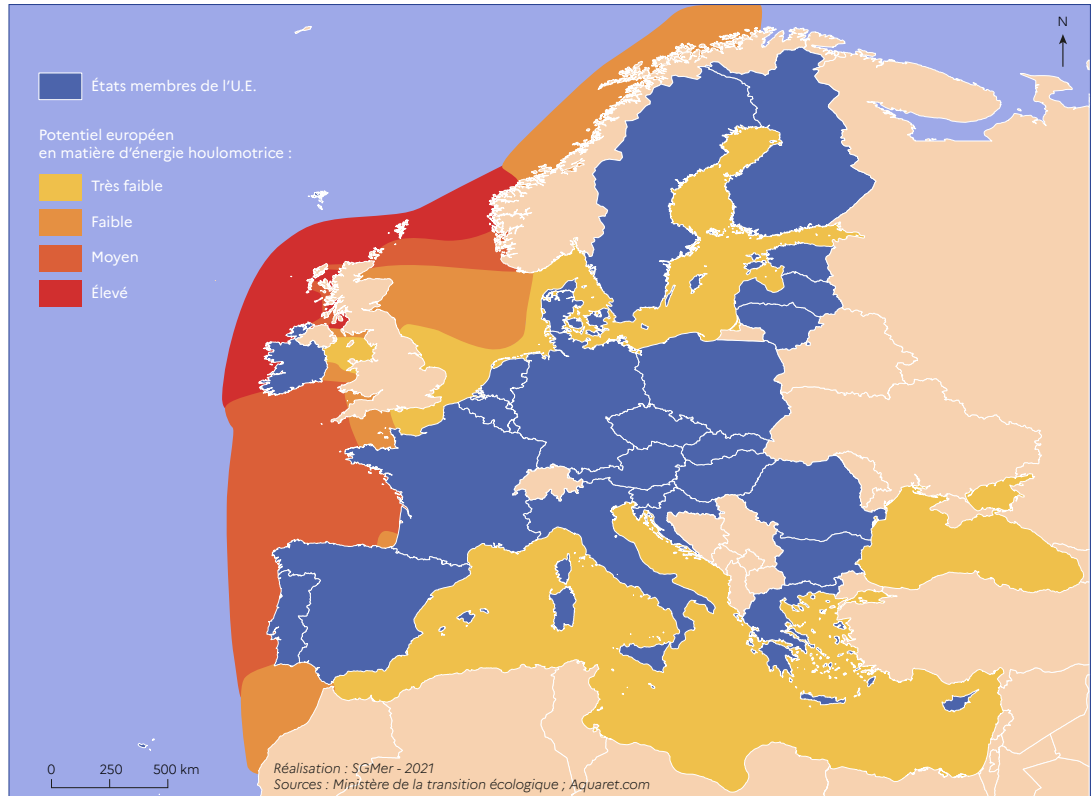


Figure n°4 : le potentiel européen en matière d'énergie houlomotrice.

En France métropolitaine, le potentiel est important (environ 40 TWh/an) et se concentre principalement sur la façade atlantique (10 à 15 GW). Les entreprises HACE, Pythéas et Geps Techno sont particulièrement engagées dans le développement du secteur de l'énergie houlomotrice.

III. L'énergie marémotrice

L'énergie marémotrice repose sur le mouvement montant et descendant des énormes masses d'eau mobilisées par le phénomène des marées océaniques, dont l'énergie est récupérée grâce à un barrage sur un estuaire. Cette énergie est pertinente dans des zones de fort marnage, c'est-à-dire où le différentiel entre la marée haute et la marée basse est élevé. L'énergie marémotrice est très peu utilisée en Europe.

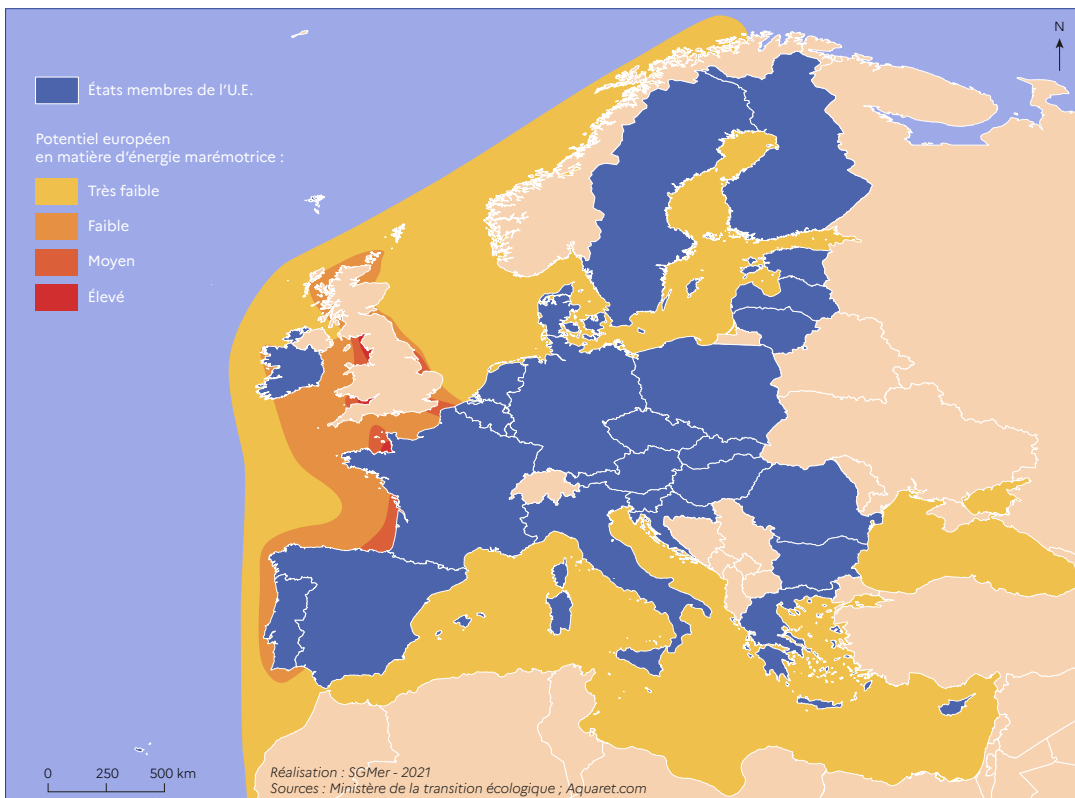


Figure n°5 : le potentiel européen en matière d'énergie marémotrice.

La France abrite l'une des usines marémotrices les plus puissantes du monde : l'usine de La Rance, proche de Saint-Malo.

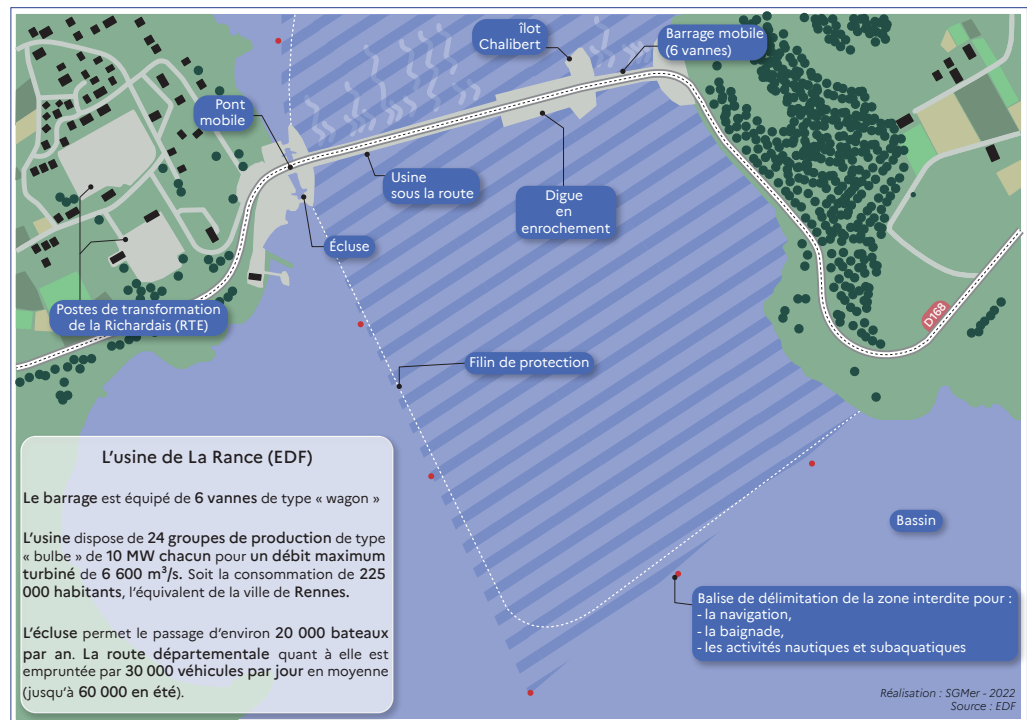


Figure n°6 : l'usine marémotrice de La Rance.

Mise en service en 1966, le barrage de La Rance fournit environ 240 GWh, soit la consommation d'une ville de 225 000 habitants. Avec le site de Sihwa en Corée du Sud, l'usine de La Rance réalise l'essentiel de la production industrielle mondiale. Il est probable que ce type de projet — marémoteur en estuaire — ne puisse pas être répliqué aujourd'hui, compte tenu de ses impacts importants sur des zones essentielles pour la biodiversité. En revanche, de nouvelles initiatives pourraient être envisagées sur diverses parties des côtes métropolitaines — Manche et Atlantique — pour des projets de type « lagon marémoteur ». Un lagon marémoteur est un bassin d'eau créé en mer, le mouvement de la marée fait tourner les turbines qui sont intégrées à la structure. Ainsi, un lagon produit de l'électricité quatre fois par jour pendant environ 14 heures, et ce de manière entièrement prédictible.

IV. L'énergie thermique des mer

L'énergie thermique des mers (ETM) ou énergie maréthermique permet d'exploiter la différence de température des eaux superficielles et des eaux profondes de l'océan. L'eau prélevée est transportée par des tuyaux jusqu'à la centrale ETM où l'énergie thermique est transformée en énergie électrique.

En cycle ouvert l'eau la plus chaude (prélevée en surface) est transportée dans un tuyau et transformée en vapeur. L'eau sous forme de vapeur ne contient pas de sel. La vapeur générée actionne alors une turbine permettant de produire de l'électricité. La vapeur circule ensuite à travers un condenseur où elle repasse à l'état liquide au contact de l'eau froide pompée en profondeur. Celle-ci peut être récupérée pour la consommation. D'autres projets en cycle fermé et en cycle hybride sont également en phase d'étude¹⁷⁴.

Pour que le cycle de l'ETM fonctionne, il est nécessaire de disposer d'un différentiel d'au moins 20°C. L'intérêt de cette énergie est d'être abondante, prévisible et disponible chaque jour dans les zones tropicales. En France, les conditions du milieu marin des territoires d'Outre-mer sont propices au développement de cette énergie. Cette exploitation présente un intérêt en zone intertropicale où la température de l'eau reste uniformément proche de 4°C à une profondeur de 1 000 m tandis qu'elle est supérieure à 24°C en surface

L'eau froide de l'ETM peut être réutilisée pour différents usages : réfrigération des bâtiments, élevage de poissons, refroidissement des sols pour l'agriculture, alimentation des centrales thermiques...

174 - Site internet Connaissance des énergies <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-etm> [Consulté le 21/07/2022].

Le SWAC (Sea Water Air Cooling)

Le SWAC est un système de refroidissement qui utilise de l'eau froide. Le SWAC se substitue aux systèmes classiques de climatisation qui sont très énergivores. Le SWAC permet de diviser par 30 les besoins énergétiques générés par la climatisation. Le SWAC est particulièrement adapté pour refroidir des bâtiments qui consomment beaucoup d'énergie (hôtel, hôpital...) qui sont situés à proximité directe de la côte.

Le système est constitué de quatre étapes :

- 1) L'eau est pompée ;
- 2) L'eau pompée est envoyée dans un échangeur pour être refroidie ;
- 3) L'eau refroidie circule dans les murs du bâtiment à climatiser ;
- 4) En circulant l'eau se réchauffe, à la fin de son circuit l'eau est rejetée dans la mer. Ce système est particulièrement adapté pour les territoires insulaires possédant des espaces maritimes profonds (permettant ainsi de puiser de l'eau fraîche).

Plusieurs SWAC ont été installés en Polynésie française : à Bora-Bora pour refroidir un hôtel (installation de 2,4 kilomètres d'une puissance de 1,65 MW de froid), à Tetiaroa pour refroidir un hôtel (installation de 2,6 kilomètres d'une puissance de 2,4 MW de froid), et à Tahiti pour refroidir un hôpital (installation de 3,9 kilomètres, d'une puissance de 6 MW de froid).

V. La ferme photovoltaïque marine

L'énergie solaire photovoltaïque flottante consiste à installer des centrales photovoltaïques sur l'eau. Cette technologie présente de nombreux avantages : elle permet de remédier au manque d'espace au sol et sur les toitures, elle permet de bénéficier d'un important ensoleillement (l'espace marin possède un important ensoleillement et la fraîcheur de l'eau permet d'éviter la surchauffe des capteurs et ainsi d'augmenter leur rendement de 15 à 20 %).

Plusieurs projets visant à développer cette technologie sont actuellement menés en Europe :

- Le projet de ferme solaire flottante en mer du Nord, mené par *Oceans of Energy*, doit permettre la mise en place de 2500 m² de panneaux solaires au sein d'un parc éolien déjà existant. Les éoliennes serviront à amarrer les cadres de fixation des panneaux solaires. C'est aussi grâce à elles que les câbles de transport d'énergie seront raccordés. Le fait de venir s'arrimer à une structure existante offre l'avantage de la sécurité et de l'économie : le projet aura déjà une première structure pour venir se greffer dessus. Aussi, l'entreprise souligne que, si des panneaux photovoltaïques sont installés entre les éoliennes en mer sur l'ensemble de leur périmètre, le rendement électrique serait cinq fois supérieur – avec une surface exploitée similaire. Un premier démonstrateur de ferme solaire flottante, mené par *Oceans of energy*, a été mis en place au large des Pays-Bas en décembre 2019. L'installation a été prometteuse, *Oceans of energy* a annoncé que son prototype avait résisté à des vagues de 5 mètres de haut et des vents de 62 nœuds (115 km/h). L'installation a vu sa capacité doubler : 28 panneaux photovoltaïques ont été ajoutés aux 28 déjà en place, portant la puissance de 8,5 à 17 kW. Néanmoins, certaines difficultés exigent une attention toute particulière notamment concernant la maintenance des installations, la salinité de l'eau pourrait en terme fragiliser les systèmes électriques. En France, il n'existe à ce jour aucun projet visant à développer cette technologie sur l'espace maritime.

VI. L'énergie osmotique

L'énergie osmotique permet d'exploiter la différence de salinité entre l'eau douce et l'eau de mer. Les deux natures d'eau sont séparées par une membrane semi-perméable. En créant une pression qui provient de la migration de molécules à travers cette membrane, un débit peut être turbiné pour produire de l'électricité. Concrètement, cette énergie peut s'appliquer là où l'eau salée et l'eau douce se rencontrent naturellement, c'est-à-dire aux embouchures des fleuves. L'avantage de l'énergie osmotique réside notamment dans sa régularité et sa forte prédictibilité. Une centrale osmotique pourrait fonctionner environ 8000 heures par an, soit 3 à 4 fois plus que la durée moyenne de fonctionnement d'une éolienne. La société norvégienne, Statkraft, a lancé un premier démonstrateur en 2009 d'une puissance de 4 kW. Toutefois, l'énergie osmotique reste à ce jour l'énergie marine renouvelable la moins développée.

Conclusion



Le déploiement de l'éolien en mer et des EMR s'inscrit dans une double planification : énergétique et spatiale. Si l'énergie éolienne posée est aujourd'hui la seule technologie mature pouvant être mise en œuvre à grande échelle, la France est également engagée dans le développement d'autres sortes d'énergies marines renouvelables. L'éolien en mer flottant devrait rapidement converger avec les prix de l'éolien en mer posé. À terme, les EMR pourraient fortement décarboner et diversifier le mix électrique français et renforcer son indépendance énergétique. Au-delà des avantages sur le plan de l'énergie et du climat, les EMR pourront également générer d'importants bénéfices économiques et sociaux, notamment en réduisant le coût de l'électricité — tout particulièrement dans les territoires ultra-marins — et en créant des bassins d'emplois pérennes.

Le développement des EMR possède de nombreux avantages, pour autant il ne doit pas se faire de manière précipitée et non concertée. L'espace maritime concentre de nombreuses activités, le déploiement des EMR peut limiter certains usages et, à l'instar des autres activités économiques maritimes, produire des effets ou impacts sur l'environnement marin. Ainsi la concertation avec les différents acteurs est une étape clé qui permet de renforcer l'acceptabilité du projet, et à terme de créer une dynamique encore plus favorable au développement de nouveaux projets d'EMR.

