



FICHE 38 Les énergies marines renouvelables hors éolien

Messages clés:

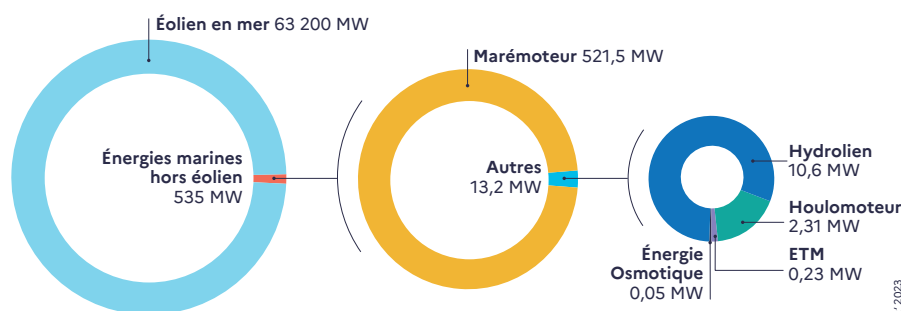
- Au-delà de l'éolien en mer, d'autres énergies renouvelables peuvent être installées en milieu marin (énergies hydrolienne, houlomotrice, osmotique, solaire flottant ou encore marémotrice). Elles sont cependant à des stades de développement encore peu avancés, en raison de technologies dont il reste à démontrer la faisabilité ou de coûts élevés. Leur maturité et leur gisement ne permettent donc pas une production électrique similaire à celle issue de l'éolien en mer.
- Elles ne font pas encore l'objet de parcs commerciaux comme pour l'éolien en mer, mais sont soutenues par l'État notamment via des appels à projet.

Dans le monde, ces technologies sont encore sous exploitées, bien qu'ayant un potentiel de production significatif, estimé entre 70 000 et 80 000 TWh (source IRENA). Les différences de puissances installées dans le monde illustrent bien l'écart de maturité existant entre les filières.

On distingue, par niveau croissant de maturité :

- Les démonstrateurs (quelques MW)
- Les fermes pilotes (quelques dizaines de MW)
- Les parcs commerciaux (quelques centaines de MW)

Bilan 2022 des puissances d'EMR installées dans le monde



Source : IRENA

stratésact 2023

Focus sur les EMR dans la PPE :

L'État n'a pas prévu d'objectif spécifique sur le développement des EMR hors éolien dans la PPE 2019-2028 au regard de leur degré de maturité.

La PPE indique cependant que le gouvernement sera attentif aux avancées de la filière.

L'État a en outre annoncé son soutien au projet hydrolien pré-commercial Flowatt, d'une capacité de 17,5 MW, qui pourrait se développer dans la zone à forts courants du Raz Blanchard.

1. Hydrolien

1.1. État des lieux

La filière hydrolienne est en maturation depuis plus d'une quinzaine d'années. En 2018, le bureau d'études Énergies de la Lune dénombrait une centaine de technologies existantes à différents stades de développement. Cette technologie, déployée dans des milieux hostiles à fort courant qui rendent son installation et sa maintenance complexes, a l'avantage d'être prévisible et d'avoir un impact nul ou très limité sur le paysage, mais rend plus difficile la cohabitation des usages.

Les zones propices à l'installation d'hydroliennes de grandes dimensions sont cependant rares. Le potentiel technique est limité à l'échelle de la planète et les coûts relativement élevés font de l'hydrolien actuellement une technologie de niche.

	Potentiel	Projets passés ou en cours
International	50 à 100 GW d'après l'observatoire des énergies de la mer	Fermes pilotes en Écosse, 2018 (600 kW et 6 MW) Ferme pilote en Chine, 2022 (3,3 MW) Total: 13 MW en incluant les démonstrateurs en test (notamment en Écosse)
France	3 à 5 GW, principalement au large de la Normandie et de la Bretagne Il s'agit d'un potentiel technique, avant prise en compte des contraintes d'autres usages ou environnementales.	Démonstrateur D10 à Ouessant en opération, projet de deux hydroliennes dans le golfe du Morbihan (Sabella) Démonstrateur de 1 MW testé à Paimpol-Bréhat (CNM/Hydroquest) Projets de petite hydrolienne dont une de 20 kW en ria d'Étel en Bretagne (Guinard Énergies Nouvelles (rachetée en 2020 par ACTI)) Hydrolienne à membrane ondulante à Caluire-et-Cuire sur le Rhône immergée en 2023 (Eel Energy)

Les premiers résultats sont encourageants, puisque quelques développeurs ont fait tourner avec succès leur(s) machine(s) pendant plusieurs mois ou années sans avaries majeures (MEYGEN a par exemple produit plus de 51 GWh entre mars 2018 et mars 2023, l'hydrolienne OceanQuest de CMN-Hydroquest a été testée avec succès sur le site de Paimpol-Bréhat pendant deux ans, Orbital et Nova Innovation exploitent leurs machines depuis plusieurs années au Royaume-Uni).



Mise à l'eau de l'hydrolienne d'Hydroquest à Paimpol-Bréhat en 2019 (démonstrateur de 1 MW)

Source: Stéphane Leroy StoryCrea/Biplan - Hydroquest

1.2. Perspectives

1.2.1. Développement de nouveaux projets hydroliens dans le monde

Dans le monde, trois pays disposent d'un potentiel important pour l'hydrolien marin et ont mis en place des mécanismes de soutien matures: la France, le Royaume-Uni et le Canada.

- **En France**, les technologies hydroliennes arrivent aujourd'hui à un stade de maturation. La ferme pilote hydrolienne Flowatt dans le Raz-Blanchard, portée par Hydroquest, Qair et CMN a remporté l'appel à projets « Systèmes énergétiques – Villes et territoires durables » (SEVTD) de l'ADEME, a reçu un accord de principe de l'État pour l'octroi d'un tarif d'achat et a contractualisé avec l'ADEME afin de recevoir une aide à l'investissement. Ce soutien public sera soumis aux règles européennes relatives aux aides d'État. Le développement de la ferme Flowatt permettra de tirer des apprentissages pour un éventuel développement commercial.
- **Au Royaume-Uni**: en novembre 2021, le Gouvernement britannique a annoncé l'attribution d'une enveloppe de 23,7 millions d'euros à l'hydrolien lors du quatrième cycle d'allocation (round 4) des *contract for difference* (CfD), équivalent britannique du contrat de complément de rémunération français. Le dispositif devrait soutenir 40 MW de projets hydroliens à hauteur de 210 €/MWh. Deux technologies flottantes ont été récompensées: Orbital (7 MW de projet) et Magallanes (5,6 MW). Le principal gagnant de ce cycle d'allocation est Proteus (ex-SIMEC Atlantis), avec le soutien à la phase 2 de MEYGEN (28 MW). Le cinquième cycle d'allocation des CfD devrait soutenir, à hauteur de 11,6 millions d'euros, 11 projets d'hydroliennes d'une puissance totale de plus de 50 MW, pour un tarif de référence de 230,50 €/MWh. En Écosse, Proteus dispose déjà de l'ensemble de la concession commerciale d'un éventuel projet global MEYGEN (398 MW).
- **Au Canada**, le site d'essai FORCE, situé en Nouvelle-Écosse, concentre les activités de la filière hydrolienne. Ce site dispose de 64 MW de câble sous-marin installés et 27 MW de projets autorisés et pour lesquels un tarif d'achat a été attribué. Un tarif d'achat est déjà disponible pour les projets hydroliens, avec différents schémas possibles, offrant un soutien à hauteur de 290 à 360 €/MWh sur 15 ans.

Des pays tels que le Japon, les États-Unis, la Chine ou les Philippines pourraient également porter des projets dans les prochaines années.

1.2.2. Enjeux industriels

La France possède un écosystème performant d'acteurs industriels (équipementiers, énergéticiens, compétences dans le domaine de la construction marine, acteurs de la connectique et de travaux maritimes), des infrastructures portuaires adaptées (ports en eau profonde et chantiers navals à Cherbourg et Brest notamment) et de bons gisements énergétiques.

Une étude, commanditée par l'ADEME lors de l'instruction du projet Flowatt dans le Raz-Blanchard, montre qu'à partir de 500 MW installés, les coûts de la filière hydrolienne pourraient passer sous la barre des 100 €/MWh.

2. Houlomoteur

2.1. Houlomoteur et hydrolien: des défis communs

L'énergie houlomotrice est une énergie produite par le mouvement des vagues: la houle. Il s'agit d'une forme concentrée de l'énergie du vent, qui engendre la création et le renforcement des vagues.

Le niveau de maturité du houlomoteur est en décalage de quelques années par rapport à l'hydrolien.

Cette technologie est encore au stade de la recherche et du développement.

La Commission Européenne a soutenu activement ces filières à travers des outils et programmes de financement dédiés (NER 300, H2020, Interreg, EuropeWave...). Ce soutien a été réaffirmé par la publication d'appels à projets Horizon Europe visant à soutenir le développement de fermes pilotes hydroliennes (40 M€ de subvention attribués à Orbital et à Nova Innovation en juillet 2023) et de fermes pilotes houlomotrices (38 M€ de subvention, ouverture en septembre 2023, clôture en janvier 2024).

Il est à noter que les acteurs hydroliens et houlomoteurs sont confrontés à des défis similaires :

- Des soutiens nationaux parfois difficiles à mobiliser puisque les **EMR doivent se montrer rapidement compétitives face aux technologies éoliennes et photovoltaïques déjà matures** et à un prix proche, voire plus faible que celui du marché de l'électricité ;
- **L'environnement marin est complexe et hostile** et les technologies doivent pouvoir **résister à des événements météo extrêmes, à la corrosion et au « bio-encrassement »**. Les développeurs doivent mettre au point des **stratégies d'installation et de maintenance** permettant de limiter le nombre d'interventions et les coûts d'exploitation de leurs projets.

2.2. État des lieux et marché de la filière houlomotrice

Deux types de stratégies de positionnement marché sont mises en œuvre par les développeurs de technologies houlomotrices :

- **Les installations dédiées à la production d'électricité pour exportation sur le réseau** – les machines développées aujourd'hui ont une capacité inférieure à 1 MW et leur capacité à résister à des conditions extrêmes doit encore être démontrée ;
- **Les petites installations, inférieures à 50 kW**, à destination d'applications particulières (oil&gas, aquaculture, mesures ou suivis météorologiques et environnementaux) – ce deuxième axe permet déjà à certains acteurs de bénéficier de débouchés commerciaux.

Au total, en 2022, la puissance cumulée des démonstrateurs qui ont été testés en Europe est de 12,7 MW, mais seulement 400 kW sont encore en opération.

Actuellement, le site d'essais en mer de l'École centrale de Nantes (SEM-REV du Croisic) est le seul site accueillant une expérimentation de cette technologie. Il est également possible d'évoquer le projet porté par la Communauté Pays Basque et la Région Nouvelle Aquitaine, appelé projet houlomoteur Sud-Aquitain WAVEPI (1,25 M€ financé à 75 % par du FEDER). Ce projet a permis de dérisquer plusieurs zones pour le développement de projets de fermes commerciales houlomotrices dans les Pyrénées Atlantique et dans les Landes. Le projet a pris fin en avril 2023. Les deux collectivités cherchent aujourd'hui à développer des fermes pilotes sur les zones identifiées.

La Chine et les États-Unis se positionnent depuis peu comme les principaux compétiteurs de l'Europe sur la filière houlomotrice. Le budget des États-Unis pour le développement des énergies marines est en constante croissance depuis plusieurs années et les États-Unis ont investi dans un site de test (WETS – Wave Energy Test Site) localisé à Hawaï. Une machine de 500 kW (Sharp Eagle, de la société GIEC) a par ailleurs été déployée en Chine en 2020.

2.3. Perspectives

Selon un rapport d'Ocean Energy Europe publié le 13 octobre 2020, il est considéré que **l'installation de 500 MW de projets pourrait permettre d'atteindre un coût sous les 100 €/MWh à horizon 2030**.

Si le potentiel français (et global) est moins précisément évalué que pour l'hydrolien, **la côte Atlantique française fait partie des premiers marchés visés par les développeurs européens**.

En Europe, les estimations pour le potentiel théorique de production annuelle d'énergie houlomotrice varient entre 4 000 TWh/an et 29 500 TWh/an, avant prise en compte des contraintes d'usage. Seul 10 % de ce potentiel serait finalement exploitable.

La baisse des coûts du houlomoteur et l'augmentation de la robustesse des technologies associées ne sont envisageables que si **le développement de briques technologiques et de démonstrateurs houlomoteurs** (dont les fermes pilotes) est poursuivi. L'amélioration de la résistance des installations dans des conditions météorologiques extrêmes est le principal enjeu technique auquel sont confrontés les développeurs de cette technologie aujourd'hui.

Par ailleurs, des systèmes houlomoteurs combinés à des digues sont également en développement (projet DIKWE). Ils présentent un double intérêt de **protection des ouvrages côtiers et portuaires et de production d'énergie décarbonée** à proximité de zones consommatrices d'électricité.

3. Énergie thermique des mers ou osmotique

Moins matures que l'hydrolien et le houlomoteur, l'énergie thermique des mers (ETM - qui exploite la différence de température entre eaux de surface et eaux profondes) et l'énergie osmotique (ou plus généralement, les projets exploitant le gradient de salinité entre 2 solutions pour produire de l'énergie) font toujours l'objet de recherche et de développement à ce jour.

L'ETM, comme le SWAC (Sea Water Air Conditioning, qui est utilisé pour la production de froid) est une technologie de niche, adaptée aux zones littorales avec une bathymétrie spécifique (descente rapide vers de fortes profondeurs) et une forte densité de population (ou des bâtiments/zones d'activités denses – nécessaires pour justifier l'investissement conséquent associé à ce type de projets).

Ces technologies ne sont pas encore prêtes à être développées à grande échelle. **Plusieurs démonstrateurs ont été financés dans les Outre-Mer mais cette technologie n'est pas adaptée aux caractéristiques des façades maritimes de France métropolitaine : la profondeur de la mer et les différences de température entre la surface et le fond ne sont pas assez importantes pour produire de l'électricité.**

La société AIRARO a développé et commercialisé des projets de SWAC avec succès, notamment celui du centre hospitalier de Tahiti (6 MW froid). 3 systèmes sont en fonctionnement aujourd'hui, tous localisés à Tahiti et d'autres projets sont en cours à la Réunion et en Guadeloupe. S'agissant de l'ETM, le projet MARLIN financé par l'Ademe avait été arrêté de façon anticipée du fait de difficultés technologiques.

L'énergie issue du gradient de salinité entre deux solutions présente jusqu'à présent des rendements trop faibles pour être développée à grande échelle, les coûts restants très élevés.

Sur cette filière, un projet est financé et actuellement suivi par l'Ademe : le projet Sarbacanne proposant l'utilisation de matériaux biosourcés et de nouveaux procédés qui permettraient d'atteindre des rendements augmentés pour des applications dans l'industrie (production d'énergie pour des industries, des centrales de désalinisation) ou pour des applications dans les zones estuariennes. L'un des avantages de cette technologie réside dans son caractère pilotable mais le potentiel exploitable en France est relativement faible.

4. Énergie solaire flottant en mer

Le solaire flottant en mer est une nouvelle technologie qui bénéficie de la baisse des coûts du photovoltaïque et des apprentissages des projets solaires sur lacs. Cette technologie pourrait trouver des synergies avec les parcs éoliens en mer avec lesquels des mutualisations de raccordement seraient possibles. Photovoltaïque et éolien bénéficient d'un foisonnement favorable, le solaire produisant davantage en été et par conditions anticycloniques, et l'éolien en hiver par vent fort. À ce jour, un projet éolien en mer chinois inclut 0,5 MWh de capacité solaire flottante et au moins deux projets néerlandais, portés par Shell et RWE, prévoient d'inclure des capacités solaires flottantes à des projets éoliens en mer. Par ailleurs, au large de Sète, SolarinBlue a installé deux unités de son démonstrateur photovoltaïque flottant co-financé par l'Ademe et France 2030.

Le développement de cette technologie pourrait être rapide si ses synergies possibles avec l'éolien en mer et ses faibles coûts venaient à être confirmés.

5. Énergie marémotrice

L'énergie marémotrice consiste à profiter du flux et du reflux de la marée pour alternativement remplir ou vider un bassin de retenue en actionnant des turbines incorporées dans le barrage, qui entraînent un générateur d'électricité. Le potentiel de cette énergie est très distribué mais l'évaluation du gisement disponible reste à faire.

Aujourd'hui, l'usine marémotrice de la Rance de 238 MW est la seule en fonctionnement en France. Le développement de cette filière n'est pas envisagé, notamment pour des raisons environnementales.

NOTES

NOTES



