

# Facts & Figures

## LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES

ENJEUX ET SOLUTIONS TECHNIQUES

Mai 2012

ENEA Consulting est une société de **conseil en énergie et développement durable pour l'industrie**. ENEA intervient en conseil stratégique, en accompagnement à l'innovation et aux projets ainsi qu'en tant qu'expert et formateur sur ces sujets.

La présente publication s'inscrit dans la politique de partage des connaissances essentielles d'ENEA, dont l'objectif est de présenter les clés de compréhension des grands enjeux de la transition énergétique et du développement durable.

Elle est le fruit de l'expérience des experts d'ENEA sur la thématique des énergies marines renouvelables (notamment au travers de nos prestations d'accompagnement et de conseil d'acteurs industriels) et de recherches spécifiques en interne.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage à l'Identique 2.0 France License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/> or send a letter to Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

## CONTEXTE

La surface de la Terre étant recouverte à 70% par des océans, la ressource marine potentielle est prometteuse. A titre d'exemple, l'énergie naturellement dissipée par les seules marées est évaluée à environ 25 000 TWh/an, soit davantage que la consommation d'électricité mondiale (17 800 TWh en 2011 d'après l'IEA). Bien sûr, ce potentiel théorique n'est pas exploitable en totalité en raison de différents facteurs environnementaux, économiques, techniques ou liés à des conflits d'usages (navigation, pêche, tourisme...).

Si le niveau de maturité des énergies marines est très hétérogène, aucune n'a encore atteint à ce jour le stade du développement commercial. Certains dispositifs sont encore au stade de R&D, tandis que d'autres ont atteint le stade de démonstration en mer à taille réelle. Bien que les énergies marines ne représentent actuellement qu'une part infime de la production mondiale d'électricité, cette part est amenée à croître dans les années à venir.

Par ailleurs, si les énergies marines renouvelables permettent de fournir de l'électricité, certaines d'entre elles permettent également la production d'eau douce, de froid ou de biocarburants.



### Les énergies marines, pour quels acteurs ?

Les technologies d'énergies marines, peu matures pour la plupart, sont développées par de nombreuses startups mais aussi par des équipementiers, à qui elles offrent la perspective d'un relai de croissance.

Face à ces fournisseurs de technologies, les énergies marines donnent aux producteurs d'électricité la possibilité de diversifier leur portefeuille de production EnR.

Enfin, pour les consommateurs d'énergie et les collectivités, les énergies marines apportent une solution pour consommer une énergie décarbonée produite à partir d'une ressource locale, d'autant plus précieuse dans des zones difficilement accessibles car isolées en mer (territoires insulaires, plates-formes pétrolières et gazières offshore, bouées de signalisation, stations de mesure...).



### Objectifs de déploiement

Au niveau européen, le paquet Energie-Climat est le paysage de fond du développement des énergies marines. Pour la France, il s'agit d'atteindre 23% d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale à l'horizon 2020. Au vu du potentiel naturel et industriel de la France, les énergies marines ont été identifiées en 2009 par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement comme une des **filières stratégiques prioritaires de la croissance verte**.

**L'objectif de déploiement concernant les énergies marines (hors éolienne offshore posé) est de 380 MW à l'horizon 2020 pour la France** selon le National Renewable Energy Action Plan (figure 1).

En Europe, le Royaume-Uni se situe en position de tête, avec de nombreux projets de démonstration en cours et plusieurs sites d'essais pour les énergies marines, notamment l'EMEC<sup>1</sup>, le NAREC<sup>2</sup> ou le WaveHub<sup>3</sup>.

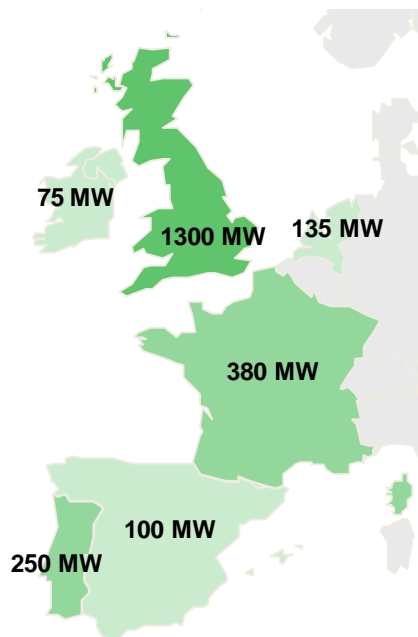


Figure 1 : Objectifs de déploiement des énergies marines (hors éolienne offshore posé) à l'horizon 2020, d'après les National Renewable Energy Action Plans

<sup>1</sup> EMEC – European Marine Energy Centre : site d'essai situé dans les îles Orcades.

<sup>2</sup> NAREC – National Renewable Energy Centre : site d'essai basé à Blyth, nord-est de l'Angleterre.

<sup>3</sup> WaveHub : site d'essai situé dans le sud-est de l'Angleterre, spécialisé dans l'énergie des vagues.

## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

La mer est un milieu riche en ressources énergétiques qui peuvent être exploitées sous différentes formes. Cette publication se focalise sur la **production d'électricité** via les filières suivantes :

- Énergie marémotrice
- Énergie des vagues (houlomotrice)
- Énergie des courants (courants de marée et courants océaniques)
- Énergie éolienne offshore flottante
- Énergie Thermique des Mers (ETM)
- Énergie osmotique (exploitation du gradient de salinité)

L'éolien offshore posé n'est pas abordé dans cette publication car cette filière fait l'objet d'un développement nettement plus avancé et présente des spécificités proches de l'éolien à terre. La filière biomasse marine est également exclue car son potentiel de développement réside plutôt dans les biocarburants que dans la production d'électricité.



### Énergie marémotrice

L'énergie marémotrice est l'énergie potentielle liée à la marée, plus précisément à la différence de hauteur entre pleine mer et basse mer (marnage). Elle peut être exploitée grâce à la construction d'un barrage équipé de turbines dans une baie ou dans un estuaire. Le flux et le reflux de la marée permettent alternativement de remplir ou de vider la retenue d'eau ainsi créée, en actionnant des turbines qui produisent de l'électricité. Les marnages les plus remarquables sont observés au Canada (entre 15 et 20 m pour la baie de Fundy), sur les côtes françaises et britanniques, ainsi qu'au Nord de l'Australie, mais beaucoup d'autres sites présentent un marnage suffisant (5 m) pour l'exploitation de ce type d'énergie.

L'usine de la Rance (240 MW), permet de fournir 500 GWh/an au réseau français depuis 1967. Anciennement plus grande usine marémotrice du monde, elle a été détrônée depuis 2011 par l'usine coréenne de Sihwa Lake (254 MW).

La filière est mature et bien maîtrisée techniquement, et la puissance marémotrice est fortement prédictible. Cependant, au vu du fort impact environnemental de ce type d'installations (ensablement, modification de l'écosystème), les perspectives de développement sont très limitées.

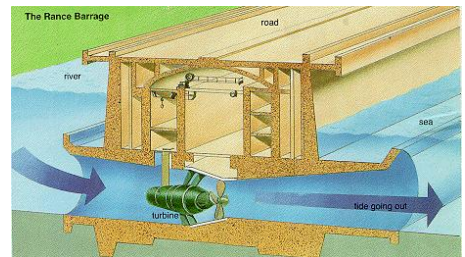


Figure 2 : Usine marémotrice de La Rance



### Énergie des vagues (houlomotrice)

Flotteurs ponctuels ou linéaires, systèmes à déferlement ou encore colonnes d'eau oscillantes... ce type d'énergie marine est à l'origine d'un foisonnement de technologies pour convertir l'énergie des vagues en électricité. Il existe une multitude de projets différents, la plupart encore au stade d'études à travers le monde.

La ressource houlo motrice est usuellement chiffrée en kW par mètre de front de vague (kW/m). La gamme optimale pour un convertisseur d'énergie des vagues est comprise entre 15 et 75 kW/m. A titre d'exemple, sur la façade atlantique française, la puissance moyenne transmise par les vagues est de l'ordre de 45 kW/m. Les zones situées dans des hautes latitudes (plus de 40° par rapport à l'équateur) et les côtes occidentales des continents reçoivent plus d'énergie des vagues, ce qui correspond parfaitement à la situation du littoral européen.

Le constructeur américain Ocean Power Technologies a installé en 2011 un pilote de 150 kW à proximité de la côte Nord-Est de l'Ecosse. Cette technologie « PowerBuoy », de type flotteur ponctuel, a été mise à l'eau avec succès durant une période de six mois.

La concentration de l'énergie éolienne dans les vagues offre une ressource abondante et qui peut voyager sur de très longues distances avec peu de pertes. Elle est cependant peu prévisible et les conditions extrêmes de la surface de la mer impliquent des systèmes particulièrement robustes.



Figure 3 : Système PowerBuoy, Ocean Power Technologies

## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



### Énergie des courants

Les projets les plus nombreux pour convertir l'énergie cinétique des courants de marées ou des courants océaniques en électricité sont des projets d'hydroliennes, dispositifs équivalents aux éoliennes en milieu sous-marin. D'autres technologies de convertisseurs existent : turbines à axe vertical, profils oscillants... A l'image du secteur éolien, les dispositifs sont prévus pour être modulaires (quelques MW) et déployés sous forme de « fermes » à l'échelle commerciale.

En octobre 2011, le prototype d'hydrolienne « Arcouest » (500 kW), de technologie irlandaise OpenHydro, a été immergé en Bretagne pour le compte d'EDF.

L'avantage de cette énergie est qu'elle s'appuie sur une ressource continue dans le cas des courants océaniques et fortement prédictible pour les courants de marée. De plus, les installations sont immergées, ce qui limite la pollution visuelle et sonore.

Les sites éligibles sont très spécifiques : une vitesse de courant minimale de 2,5 m/s est nécessaire pour permettre une production d'électricité significative grâce à une hydrolienne.



Figure 4 : Hydrolienne OpenHydro

La ressource est localisée là où les courants sont les plus forts. La vitesse des courants de marée peut être accélérée dans certaines zones par la configuration de la côte (singularités bathymétriques, effet d'entonnoir dans un estuaire, réflexion aux abords d'une péninsule...). En France, le littoral de la Bretagne et celui de la Normandie possèdent plusieurs sites où les courants atteignent des vitesses importantes. Les îles britanniques sont également connues pour leur fort potentiel hydrolien.



### Énergie éolienne offshore (structures flottantes)

Les structures flottantes permettent d'élargir la gamme des sites potentiels pour l'énergie éolienne offshore. En effet, alors que les éoliennes posées sur le sol marin sont limitées à une profondeur d'eau de 30 à 50 m, les structures flottantes peuvent être installées dans des profondeurs allant actuellement jusqu'à 200 m. Les technologies des systèmes de flottaison sont empruntées au secteur pétrolier : TLP<sup>1</sup>, plate-forme semi-submersible<sup>2</sup>, Spar<sup>3</sup>... Le fonctionnement de la partie turbine est exactement le même que pour les éoliennes à terre.

L'entreprise norvégienne Statoil a installé le premier démonstrateur à l'échelle commerciale « Hywind » (2,3 MW) en 2010 le long des côtes norvégiennes, dans une profondeur d'eau de 200 m.

Les éoliennes flottantes peuvent être installées dans des zones où le fond marin plonge soudainement, y compris à faible distance de la côte comme en France. D'autre part, elles offrent la perspective de pouvoir s'éloigner des côtes, impliquant une meilleure productivité grâce à une ressource en vent plus importante et plus constante. Cet éloignement permet une réduction des conflits d'usages et de la pollution visuelle par rapport aux éoliennes posées.



Figure 5 : Eolienne flottante Hywind

<sup>1</sup> TLP – Tension Leg Platform : Plate-forme en excès de flottabilité, maintenue immergée par des lignes d'ancrage tendues verticalement depuis le fond marin.

<sup>2</sup> plate-forme semi-submersible : Plate-forme dotée de ballasts pour s'enfoncer dans l'eau, ce qui la rend moins vulnérable à l'état de mer.

<sup>3</sup> Spar : Plate-forme reposant sur un flotteur cylindrique vertical et très allongé. Le flotteur est stable car lesté dans sa partie basse.

## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



### Énergie thermique des mers (ETM)

L'Énergie Thermique des Mers exploite, au sein d'un cycle thermodynamique classique, la différence de température entre l'eau chaude de surface disponible dans certaines parties du globe (entre 25 et 30° C) et l'eau froide des profondeurs (environ 4° C à partir de 800m). Grâce à ces sources thermiques, un fluide de travail est successivement condensé puis vaporisé pour actionner une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité. Le système n'est pertinent que si la différence de température entre les deux sources d'eau est supérieure à 20° C, la zone intertropicale est donc la plus propice pour le développement de ce type d'énergie.

Des prototypes de centrales ETM ont été testés dès les années 1970, mais face à des obstacles technologiques et économiques, les efforts de R&D ont été abandonnés suite au contrechoc pétrolier. Récemment, un regain d'intérêt pour ce type d'énergie est observé dans plusieurs pays européens et outre-Atlantique.

La DCNS, en partenariat avec le Conseil Régional de la Réunion, a construit en 2011 un prototype à échelle réduite (1/150) de centrale ETM à terre. L'entreprise mène également des études de faisabilité pour des centrales pilotes à Tahiti et en Martinique.

L'avantage majeur de l'ETM réside dans son caractère non-intermittent. Cependant, il reste des défis à relever, notamment concernant le design des échangeurs thermiques en milieu marin et celui de la longue canalisation d'eau froide (800 m) de grand diamètre (environ 5 m).

Au-delà de la production d'électricité, l'ETM permet également de produire du froid, de l'eau douce ou de favoriser l'aquaculture.



Figure 6 : Prototype ETM à terre, DCNS



### Énergie osmotique

La conversion de l'énergie osmotique en électricité est basée sur la différence de concentration en sel entre deux solutions aqueuses séparées par une membrane. Dans la technologie PRO (Pressure Retarded Osmosis), l'eau douce migre à travers une membrane semi-perméable vers le compartiment de l'eau salée, ce qui crée une surpression dans ce dernier. Ce flux d'eau sous pression permet d'actionner une turbine hydraulique, reliée à un alternateur.

L'énergie osmotique est encore très peu mature, et seul le groupe norvégien Statkraft a construit en 2009 une centrale pilote de quelques kW en Norvège.

Il existe d'autres concepts que la technologie PRO pour l'exploitation de cette énergie : la technologie RED (Reverse Electro Dialysis) sur laquelle travaille la société néerlandaise Wetsus ou encore la technologie VDPU (Vapour Pressure Difference Utilisation). Aucun projet de démonstration n'a encore été réalisé à ce jour sur ces technologies.

Tout comme l'ETM, l'avantage majeur de ce type d'énergie réside dans son caractère non-intermittent. Cependant, le rendement des membranes est un point critique qui nécessite encore beaucoup de recherche.



Figure 7 : Prototype de centrale osmotique, Statkraft

## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



### De nombreuses solutions, des stades de développement variés

À l'exception de l'énergie marémotrice qui alimente déjà la France et la Corée du Sud en électricité, le secteur des énergies marines renouvelables est globalement à un stade de développement émergent.

L'énergie marémotrice a fait ses preuves depuis de nombreuses années, mais au vu des impacts environnementaux, les perspectives de développement sont très faibles.

Le secteur hydrolien, suivi de près par l'éolien offshore flottant, est à un degré de maturité relativement avancé : des démonstrateurs à taille réelle sont actuellement installés en mer. Les hydroliennes et les éoliennes flottantes se basent sur des concepts éprouvés et sur des technologies déployées par de grands groupes industriels dans d'autres secteurs (éolien à terre et structures flottantes du secteur pétrolier offshore pour les éoliennes flottantes, éolien à terre et turbines hydrauliques pour les hydroliennes). Leur évolution suit celle du secteur éolien avec une quinzaine d'années de retard, ce qui laisse présager un déploiement commercial dans les années à venir.

L'énergie des vagues est à un stade de développement moins avancé. Il existe un foisonnement de technologies très variées. Les projets sont menés de manière individuelle par des start-up ou des laboratoires de recherche, et si les technologies développées sont très innovantes, elles nécessitent encore des efforts de R&D afin d'en valider les concepts.

Bien qu'ayant fait l'objet de travaux de recherches et de prototypes dans les années 1970, la construction de centrales ETM de taille conséquente se heurte actuellement à des verrous technologiques importants.

Enfin, l'énergie osmotique est la moins mature des énergies marines. Quelques programmes de recherche existent à travers le monde mais le développement de cette énergie en est encore à ses balbutiements.

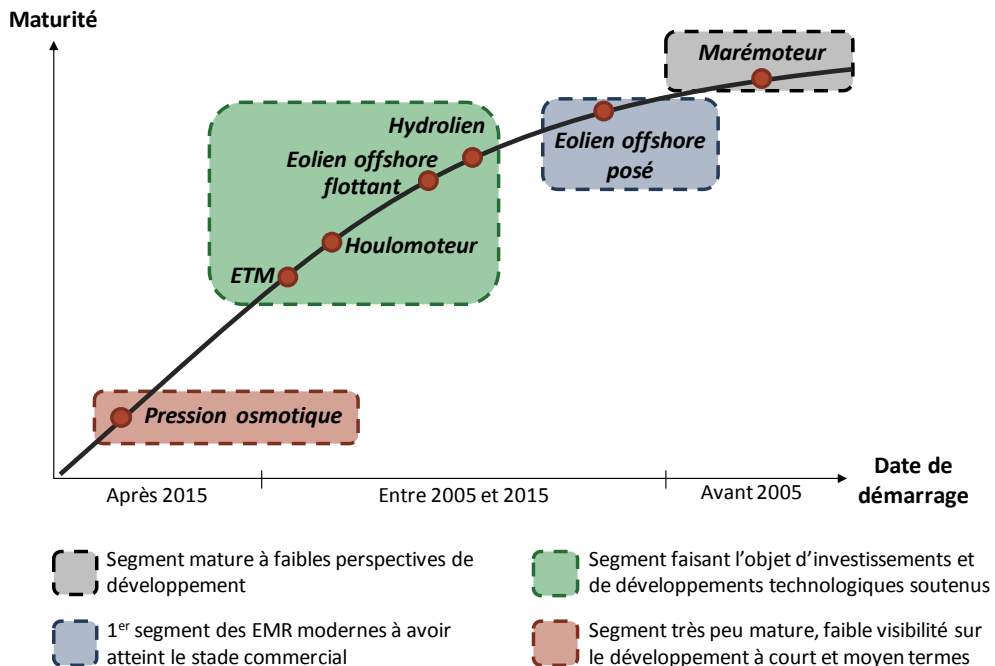


Figure 8 : Maturité des énergies marines, d'après France Energies Marines

## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



### Comparaison des énergies marines

Les énergies marines renouvelables présentent des caractéristiques techniques propres qui diffèrent selon les technologies considérées :

- Le **caractère continu ou intermittent** de la ressource, et dans ce dernier cas son degré de prévisibilité
- La **distance à la côte**
- La **profondeur d'eau**

La distance à la côte et la profondeur d'eau reflètent l'accessibilité du système et donc les coûts d'installation et de maintenance, ainsi que les coûts de transport d'électricité. En revanche, du point de vue de l'acceptabilité sociale, une grande distance à la côte est un atout. Distance et profondeur ne sont pas toujours corrélées, citons par exemple le littoral atlantique espagnol, où la profondeur augmente très rapidement avec l'éloignement des côtes. A l'inverse, le plateau de la mer du Nord assure une profondeur d'eau modérée sur de grandes distances.

La figure 9 positionne les types d'énergies marines selon leur intermittence et distance à la côte typiques. L'énergie osmotique, l'ETM ou les courants océaniques permettent de fournir une production continue d'électricité, véritable atout dans le secteur des énergies renouvelables. La production d'électricité basée sur l'énergie des marées (marémotrice et courants de marées) est intermittente mais bien plus prédictible que celle provenant du vent.

Sur certains sites, la ressource naturelle peut être insuffisante par rapport aux capacités des technologies actuellement déployées ; le niveau de ressource minimal propre à chaque type d'énergie marine est détaillé tableau 1. A l'inverse sur d'autres sites, l'accessibilité peut être limitée car l'abondance de la ressource (fortes vagues ou courants) ne permet pas l'installation ou la maintenance dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

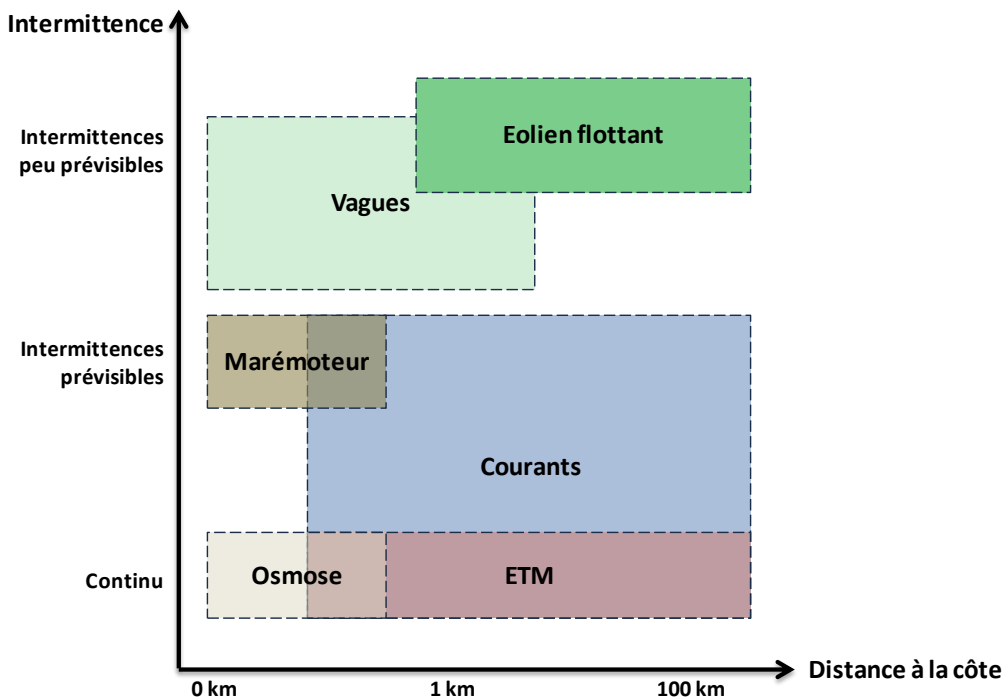


Figure 9 : Cartographie des types d'énergies marines selon leur intermittence et leur distance à la côte



## SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



### Quel coût pour les énergies marines ?

Le coût des énergies marines est difficile à évaluer car il y a actuellement encore trop peu de déploiements en mer. Il est cependant possible d'estimer à l'horizon 2015 que les coûts d'installation seront compris dans une fourchette allant de 4 à 20 M€/MWh<sup>1</sup> selon la technologie considérée. Les coûts complets sont estimés à 200 €/MWh<sup>1</sup> pour l'éolien offshore flottant, 200-250 €/MWh<sup>1</sup> pour l'énergie des vagues et des courants et à 400€/MWh<sup>1</sup> pour l'ETM. L'énergie osmotique est encore trop peu mature pour pouvoir estimer son coût de manière pertinente, qui évoluera beaucoup en fonction des progrès réalisés sur les membranes.

Les leviers influant sur le coût sont multiples :

- Qualité de la ressource naturelle (vitesse du courant, température de l'eau...)
- Puissance de la centrale
- Prix des matières premières (acier, cuivre...)
- Distance à la côte : elle est l'image de la distance au réseau (le kilomètre de câble électrique sous-marin est évalué à un minimum de 0,5 M€<sup>2</sup>) et impacte les coûts d'installation et de maintenance
- Profondeur d'eau : tout comme la distance à la côte, elle influe sur le raccordement à terre ainsi que sur les coûts d'installation (coût des fondations ou des ancrages) et de maintenance

Différents axes de travail sont nécessaires pour faire baisser le coût des énergies marines et les rendre plus compétitives. Des efforts de R&D doivent être maintenus pour améliorer les performances des systèmes. Par ailleurs, la multiplication du nombre de projets, l'accumulation d'expérience grâce à des démonstrateurs en mer et l'augmentation de la taille des centrales permettront de réaliser des économies d'échelle.


	Distance à la côte	Profondeur	Contraintes sur l'environnement	Intermittence	Coût	Maturité
Energie marémotrice	Faible	Faible	Marnage > 5m	●	●	●
Energie des vagues	Grande	Limitée si fixé au sol Grande si flottant	Puissance des vagues comprise entre 15 et 75 kW/m	●	●	●
Energie des courants	Variable	Limitée si dispositif fixé au sol	Vitesse du courant > 2,5m/s	●	●	●
Energie éolienne offshore (structures flottantes)	Grande	Grande	Vitesse du vent comprise entre 3,5 m/s et 25 m/s	●	●	●
Energie Thermique des Mers	Variable	Grande	Différence de température > 20°C	●	●	●
Energie osmotique	Faible	Variable	Gradient de salinité entre eau douce et eau de mer	●	●	●

Tableau 1 : Comparaison des différents types d'énergies marines étudiés

<sup>1</sup> Source : France Energies Marines

<sup>2</sup> Source : Feuille de route sur les énergies renouvelables marines, ADEME, 2009

# PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT POUR LA FRANCE



## Une volonté de structurer la filière

La France compte de nombreux acteurs de la filière des énergies marines qui interviennent en tant qu'instituts de recherche publique (IFREMER, IFP EN, Ecole Centrale de Nantes, ENSTA Bretagne...) ou acteurs industriels privés (DCNS, Alstom, EDF, Technip, STX, Sabella, Hydroquest, Nenuphar, Energie de la Lune...).

Au cours des dernières années, des organismes ont été mis en place pour coordonner ces acteurs et structurer leurs actions.



Créée en octobre 2008, l'**IPANEMA** (Initiative PARTenariale Nationale pour l'émergence des Energies MARines) a initié une dynamique pour promouvoir le développement d'une filière scientifique et industrielle sur les énergies marines. Elle regroupe plus de 130 acteurs industriels et du monde de la recherche.



La commission Energies Marines du **Syndicat des Energies Renouvelables** a été créée en 2009. Elle regroupe une vingtaine d'acteurs (laboratoires de recherche, industriels, développeurs de projets...) du secteur des énergies marines.



Les pôles de compétitivité, **Pôle Mer PACA** et **Pôle Mer Bretagne**, ont pour but de soutenir le développement économique de leur territoire. Dans le secteur des énergies marines, ils créent une synergie entre les acteurs établis localement et soutiennent les petites et moyennes entreprises ainsi que les start-up innovantes.



Le tout récent institut **France Energies Marines** est une plate-forme commune de recherche basée à Brest, labellisée au titre d'IEED (Institut d'Excellence en Energies Décarbonées) en 2012. Il regroupe plus de 50 acteurs fonctionnant sur un partenariat public-privé. Le budget s'élève à 142 millions d'euros avec une participation de l'état de 34,3 millions d'euros au cours des 10 prochaines années dans le cadre des Investissements d'Avenir. L'objectif de cet institut est des soutenir la R&D et les initiatives de démonstration, notamment avec la mise en place d'un site d'essai français dédié aux énergies marines.



## Le soutien des filières industrielles françaises plus matures

**Le développement du secteur des énergies marines en France doit s'appuyer sur le savoir-faire d'autres secteurs plus matures et complémentaires tels que l'éolien à terre, l'offshore pétrolier ou la construction navale.**

L'association du groupe parapétrolier Technip et de la start-up française Nenuphar pour le projet d'éolienne flottante Vertiwind en est un bon exemple. Le projet d'hydrolienne ORCA est quant-à-lui piloté par Alstom, en partenariat avec EDF, STX et l'Ecole Centrale de Nantes.

Le secteur éolien offshore, actuellement en plein déploiement grâce à l'appel d'offres de 3000 MW du gouvernement français, va permettre d'ouvrir la voie aux autres types d'énergies marines. Elles bénéficieront des retours d'expérience en construction, opération et maintenance des éoliennes en mer et de leurs infrastructures.

L'émergence de cette filière industrielle est une opportunité pour la création de nouvelles entreprises, pour la reconversion de celles qui sont sur le déclin et pour la diversification des activités des secteurs plus matures.



Figure 10 : hydrolienne ORCA

# PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT POUR LA FRANCE



## Zoom sur les financements

Au vu de la faible maturité du secteur, le financement des énergies marines est principalement mis en place sous forme de **subventions pour la recherche et pour la réalisation de démonstrateurs**.

En 2009, le **Fonds démonstrateur Energies Marines de l'ADEME** a permis de mobiliser un budget de 40 millions d'euros pour financer cinq projets de démonstrateurs de taille réelle. Les lauréats de cet Appel à Manifestation d'Intérêt ont été deux projets d'éoliennes offshore flottantes (Winflo et Vertiwind), deux projets d'hydroliennes (Sabella et ORCA) et un projet de houle (S3).

Suite à l'appel d'offres français pour l'éolien offshore posé (doté de 10 milliards d'euros pour la première tranche de 3 GW), et dans le but de faire émerger une deuxième filière industrielle française des énergies marines avec les hydroliennes, une concertation nationale initiée par le gouvernement est actuellement en cours. Elle regroupe les énergéticiens et industriels du secteur et concerne la définition de zones propices à l'installation d'hydroliennes, les solutions techniques envisagées et leurs schémas financiers. **Cette concertation devrait permettre de lancer avant deux ans un appel d'offres commercial pour les hydroliennes.**



Figure 11 : hydrolienne Sabella

Au niveau européen, il est possible d'obtenir des aides à la recherche dans le cadre du **7ème programme-cadre (FP7)**. La commission dispose d'un budget total de plus de 50 milliards d'euros pour la période 2007-2013 et d'une thématique énergies marines. Si l'échéance de 2013 semble relativement proche au vu des délais imposés par les projets énergétiques, le 8ème programme-cadre « Horizon 2020 » est déjà en préparation et couvrira la période 2014-2020.

Le dispositif **NER300** est un dispositif de financement pour des projets de démonstration sur le thème des énergies renouvelables. A ce titre, trois projets français ont été présentés : une ferme d'hydroliennes « Normandie Hydro » (EDF EN - DCNS), une ferme d'éoliennes flottantes « VertiMED » (EDF EN - Technip - Nenuphar), et une centrale ETM destinée à la Martinique (DCNS - STX). L'annonce des lauréats est attendue pour octobre 2012.

Enfin, un **tarif de rachat** pour l'énergie hydrolienne a été fixé en France à 150€/MWh depuis 2007, mais ce tarif n'est pas suffisant au vu du coût des technologies (pour comparaison, le tarif de rachat britannique s'élève à 275€/MWh).



## Un cadre réglementaire peu incitatif

L'installation d'un dispositif exploitant les énergies marines est soumise à l'obtention de plusieurs autorisations via des **procédures lourdes** et nécessitant des **délais très longs** :

- Autorisation d'exploitation délivrée par le Ministre chargé de l'énergie,
- Autorisation d'occupation du Domaine Public Maritime<sup>1</sup> (DPM), accompagnée du paiement d'une redevance et d'une éventuelle garantie financière en vue du démantèlement des installations et de la remise en état du site,
- Autorisation relative au code de l'environnement, délivrée au titre de la loi sur l'eau.

Les acteurs du secteur jugent ce cadre réglementaire **peu cohérent et peu adapté** et le SER a identifié des voies d'amélioration. Par exemple, les autorisations relatives au DPM et à la loi sur l'eau doivent être demandées auprès de services de l'Etat distincts, alors que le préfet est l'unique autorité compétente pour les délivrer. **La création d'un guichet unique simplifierait le processus**. Par ailleurs, le délai d'obtention d'une autorisation définitive pouvant s'étendre jusqu'à cinq ans, les technologies présentées lors de la demande initiale sont susceptibles d'évoluer et il serait souhaitable de **permettre l'adaptation de l'autorisation initiale par rapport à des changements technologiques** (puissance, hauteur de la machine...). De plus, les projets d'énergie marine sont soumis à des études d'impact environnemental et à une enquête publique, comme pour un projet à l'échelle industrielle prévu pour une durée de 20 ans. **Le caractère temporaire d'un démonstrateur n'est absolument pas pris en compte**. Enfin, si la réglementation est relativement claire pour l'utilisation du DPM, il **n'existe aucune réglementation spécifique pour la Zone Economique Exclusive<sup>2</sup> (ZEE)**.

<sup>1</sup> DPM – Domaine Public Maritime : zone du littoral correspondant à l'estran, aux eaux intérieures et à la mer territoriale.

<sup>2</sup> ZEE – Zone Economique Exclusive : zone située au-delà de la mer territoriale et qui s'étend jusqu'à 200 milles marins (~320km) des lignes de base.

## OPPORTUNITES DE VALORISATION



### L'autonomie énergétique des territoires insulaires

La contribution des énergies marines au mix énergétique de la France métropolitaine sera assez réduite : le potentiel des énergies marines y est estimé à 10 TWh (selon EDF), soit 2% de la consommation d'électricité (490 TWh en 2010 selon RTE). Cependant, la France possède la deuxième plus grande ZEE du monde (plus de 11 000 000 km<sup>2</sup>) dont 97% sont situés hors de la métropole, représentant une ressource abondante pour les territoires d'Outre-Mer.

Par ailleurs, les énergies marines sont structurellement plus intéressantes dans ces îles éloignées qu'en métropole du fait du coût accru du combustible fossile et donc de l'électricité. **Si les énergies marines resteront marginales dans le mix énergétique métropolitain, elles joueront à moyen terme un plus grand rôle dans les territoires d'Outre-Mer.**

Pour atteindre l'autonomie énergétique dans des zones insulaires qui disposent de peu d'espace au sol, l'objectif est de construire des centrales flottantes de plusieurs MW. La phase d'expérimentation sur des démonstrateurs à échelle réduite reste une étape nécessaire, et plusieurs projets sont actuellement en cours. A la Réunion, l'entreprise SeaWatt étudie la faisabilité d'une centrale de 30 MW grâce à la technologie houlomotrice Pelamis. Par ailleurs, la DCNS est actuellement impliquée dans des projets ETM à la Réunion, en Martinique et à Tahiti. L'ETM est la grande gagnante des installations en territoires insulaires, grâce à la valorisation possible des eaux froides profondes pour d'autres utilisations (production d'eau douce, climatisation, aquaculture...).

Les énergies marines représentent également une solution potentielle pour des territoires continentaux qui sont mal reliés au réseau, tels que la région PACA ou la région Bretagne. Enfin, la mer représente une ressource locale et abondante qui permettrait de fournir une partie des besoins en électricité des plates-formes offshore de production pétrolière.



### Intégrer les énergies marines aux ouvrages côtiers et portuaires

Le **programme français EMACOP (Energies MARines, COtières et Portuaires)** est un programme national de R&D regroupant plus d'une dizaine de partenaires publics et privés. L'objectif de ce programme est d'étudier le **couplage des dispositifs de récupération d'énergie de la mer avec des ouvrages côtiers et portuaires (digues, piles de ponts...)**. Cette synergie peut s'inscrire dans le cadre de la rénovation d'ouvrages vieillissants ou de la construction d'ouvrages neufs.

Les avantages liés à ces ouvrages multifonctionnels sont multiples :

- Installation à la côte : **raccordement électrique et maintenance facilités**,
- Synergie des fonctions d'ouvrage de génie civil et de centrale électrique permettant le **partage des coûts**,
- **Impacts environnementaux réduits** grâce à la reconversion d'ouvrages anciens et **externalités positives** pour la construction de nouveaux ouvrages.

Les objectifs du programme EMACOP sont la détermination du potentiel exploitable des côtes françaises et la caractérisation du rendement des technologies d'énergie marine existantes, afin de permettre une sélection pertinente de technologies ainsi que leur adaptation. Le programme comprend également des études d'impact hydraulique et sédimentaire, ainsi qu'une estimation du coût du kWh produit. Enfin, l'étape finale sera la validation sur site pilote.

Une illustration de ce type de projet est la centrale houlomotrice du constructeur écossais Voith Hydro, intégrée à une digue de 100 m à proximité du village de Mutriku en Espagne. L'installation de cette centrale à colonnes d'eau oscillantes de 300 kW a été terminée en 2011, et permettra de produire 600 MWh/an.

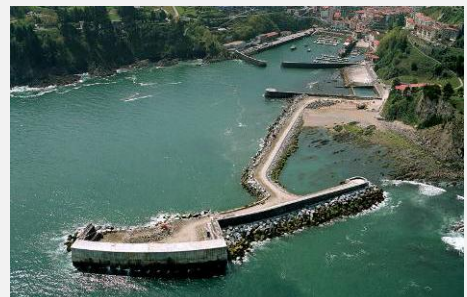


Figure 12 : Centrale à colonnes d'eau oscillantes, VoithHydro

# AU-DELÀ DE L'ÉCONOMIE : UN IMPACT GLOBAL



## Impact environnemental

+	Les énergies marines renouvelables sont une solution de production d'électricité <b>décarbonée</b> .
+	Les fondations des dispositifs installés en mer créent un effet de « <b>récif artificiel</b> » qui permet de favoriser la croissance et le développement des écosystèmes sous-marins.
+	Une centrale ETM rejette en surface de l'eau pompée en profondeur et riche en nutriments, ce qui permet de favoriser la production de biomasse (phénomène d'« <b>upwelling</b> »).
?	Au vu du stade émergent de développement de ces technologies, d'autres impacts environnementaux sont encore à préciser. Des études sont actuellement menées pour identifier la nature de ces impacts auprès des écosystèmes marins (transport de sédiments, nuisances sonores et vibrations, toxicité des peintures antifouling...), et le fonctionnement en situation réelle de pilotes permettra de les quantifier, voire de proposer des mesures compensatoires.



## Impact social

Le développement des énergies marines renouvelables va créer des tensions avec les autres usagers de la mer (navigation, défense, pêche, conchyliculture, tourisme, loisirs...). Afin de gérer au mieux ces conflits d'usages, **une sélection judicieuse du site et la concertation en amont** avec les communautés locales, le grand public, les institutions et autres parties prenantes sont indispensables pour permettre l'acceptabilité sociale<sup>1</sup> des projets d'énergie marine.

L'implantation des énergies marines impliquera des zones d'exclusion pour les autres activités en mer. Il serait souhaitable d'encourager la cohabitation sur un même site et la mise en place de **plateformes offshore multi-usages**. A titre d'exemple, l'effet de récif artificiel créé par les fondations d'une éolienne offshore favorise la croissance de la biomasse locale et pourrait bénéficier à la pêche.

Cette gestion de l'espace passe par la mise en place d'un **plan de gestion de l'espace marin (Maritime Spatial Planning)**, qui vise à allouer les activités humaines à des aires marines spécifiques, par objectif (développement ou préservation), ou par usage (production d'énergie, aquaculture, défense...). Ce type de plans existe déjà aux Etats-Unis et est actuellement à l'étude en Europe<sup>2</sup>.

Enfin, l'exploitation des énergies marines permet une production d'électricité locale et à petite échelle pour **permettre l'accès à l'énergie de communautés qui ne sont pas reliées au réseau**, y compris sur le continent (ex : communautés inuites du Canada). Selon le type d'énergie marine considéré, la mise en place d'une solution de stockage d'électricité<sup>3</sup> peut être nécessaire.



### Eolien offshore & onshore

En termes d'acceptabilité sociale, le développement de projets éoliens échappe rarement à la controverse. Ainsi, et d'après une étude de l'EWEA (European Wind Energy Association) de Juillet 2010 portant sur le développement de projets éoliens au sein de l'Union Européenne des 27, le manque d'acceptabilité sociale est à l'origine de nombreux retards et avortements de projets, synonymes de pertes économiques conséquentes :

- **40 % des projets retardés** le sont par des procès lors de la phase d'étude d'impact,
- **30 % des projets retardés** le sont par l'action des ONG environnementales,
- **30 % des projets abandonnés** le sont du fait d'assignations en justice et de résistance des communautés.

<sup>1</sup> « Acceptabilité sociale des projets industriels », publication ENEA Consulting, Avril 2012

<sup>2</sup> La transposition française de la directive cadre « stratégie pour le milieu marin » (DCSMM) de 2008 mène à l'élaboration actuelle d'un Plan d'Action pour le Milieu Marin (PAMM)

<sup>3</sup> « Le stockage d'énergie », publication ENEA Consulting, Mars 2012

# LES ÉNERGIES MARINES AUJOURD'HUI



## Ce qu'il faut retenir

Les énergies marines permettent de fournir une énergie décarbonée et renouvelable grâce l'exploitation de diverses ressources présentes en mer (marées, vagues, courants, vents, gradients de salinité ou de température).

A l'exception de l'énergie marémotrice qui alimente déjà la France et la Corée du Sud en électricité, le secteur des énergies marines est globalement à un stade de développement émergent. Les niveaux de maturité des différents types d'énergies marines sont hétérogènes. Tandis que l'osmose est encore au stade de R&D, le déploiement en mer de démonstrateurs à taille réelle d'hydroliennes et d'éoliennes offshore flottantes marque l'imminence de leur développement commercial.

L'énergie osmotique et l'ETM présentent la possibilité de produire de l'électricité en continu, en s'affranchissant des intermittences, ce qui est un atout appréciable dans le secteur des énergies renouvelables. D'autres énergies marines telles que l'énergie marémotrice et l'énergie des courants de marée fournissent une énergie intermittente, mais hautement prédictible. L'ETM présente quant à elle la possibilité de fournir d'autres services que la production d'électricité : eau douce, air conditionné ou aquaculture.

A moyen terme, il est peu probable que les énergies marines révolutionnent le mix énergétique de la France métropolitaine. Cependant, à court terme, il existe des opportunités de valorisation dans les territoires insulaires tels que l'Outre-Mer, ainsi que dans l'intégration des dispositifs de conversion d'énergie marine à des ouvrages côtiers existants ou en construction (programme français EMACOP).

La mise en place d'une filière française des énergies marines devra nécessairement prendre appui sur le savoir-faire d'autres secteurs plus matures (Oil & Gas offshore, construction navale, éolien terrestre...). Les acteurs impliqués dans le développement de cette filière sont nombreux, et des organismes tels que l'IEED France Energies Marines tentent de coordonner leurs actions afin de structurer la filière.

Le coût des énergies marines est encore très élevé et le gouvernement français intervient principalement sous forme de subventions pour la recherche et la construction de démonstrateurs. La rentabilité de la filière à long terme sera rendue possible par l'installation en France d'un marché compétitif, avec des objectifs de déploiement ambitieux, la mise en place d'un tarif de rachat adapté et des appels d'offres comme celui pour l'éolien offshore observé actuellement. En parallèle, le cadre réglementaire devra être simplifié et assoupli.

Enfin, le développement de la filière ne pourra se faire de manière durable sans une prise en compte en amont des impacts environnementaux et sociaux. Le choix du site, la concertation avec toutes les parties prenantes et la mise en place d'un plan de gestion de l'espace marin peuvent apporter une solution à d'éventuels conflits d'usages.

### POUR EN SAVOIR PLUS :

Le site de l'Ocean Energy Systems (OES) : <http://www.ocean-energy-systems.org/>

ADEME : [Feuille de route sur les énergies renouvelables marines](#)

Publication ENEA Consulting : [Le stockage d'énergie](#)

Publication ENEA Consulting : [Acceptabilité sociale des projets industriels](#)

Auteurs : Olivier LACROIX, Laura-Mae MACADRÉ



## Nous sommes



Une société de conseil indépendante, créée en 2007, agréée organisme de recherche et de formation.

Une équipe de 25 personnes aux parcours complémentaires : dirigeants de l'industrie, spécialistes de l'énergie et du développement durable, entrepreneurs, ingénieurs procédés.

### Nos clients

- Producteurs et consommateurs d' énergie
- Industriels
- Investisseurs
- Ingénieries, Equipementiers
- Développeurs de technologies
- Institutionnels et Acteurs sociaux



CORPORATE



OPERATIONS

## OFFRES



- Prospective énergie, environnement, société



- Filières émergentes



- Nouveaux marchés



- R&D et Innovation

- Investissement



- Management de l'énergie

- Ingénierie

- Expertise & formation

## EXPERTISES TECHNIQUES



- Efficacité énergétique



- Valorisation de déchets



- Bioénergies & biocarburants



- Energies nouvelles



- Stockage d'énergie

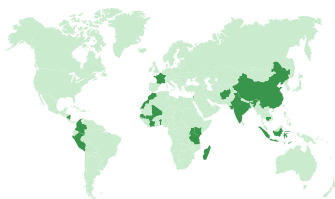
- Captage & stockage du CO<sub>2</sub>

- Hydrogène & PAC

- Ecologie industrielle

- Acceptabilité sociale

## Notre engagement



### Contribuer à l'accès à l'énergie pour tous :

- **1 500 jours de mécénat** réalisés, soit **45 missions**
- **25 partenaires**, des missions dans **18 pays**
- **15 rapports** d'étude diffusés librement
- Un **programme de R&D** sur la mesure d'impact