

## ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES : ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

Mars 2011

Cette note fait le point sur le marché des Énergies marines renouvelables (EMR, excepté éolien offshore) ; les perspectives de développement les acteurs industriels, académiques et institutionnels ; les technologies actuelles et en développement ; et enfin les projets de R&D nationaux et européens.

Cette veille technologique s'inscrit dans le cadre de l'intérêt croissant des politiques et des industriels pour les énergies renouvelables marines. En 2008, l'Europe a voté le paquet « Energie-Climat 20/20/20 » qui prévoit :

- une réduction de 20% des gaz à effets de serre,
- une amélioration de l'efficacité énergétique de 20%,
- une part de 20% d'énergie renouvelable dans la consommation d'énergie finale.

En France, le Grenelle de la mer souligne la nécessité de développer les technologies d'exploitation des EMR, afin qu'elles représentent 3% des énergies renouvelables en 2020. On estime entre 4 et 6 milliards d'euros le marché des EMR en France, permettant la création de 30 000 à 50 000 emplois à l'horizon 2020. Au niveau mondial, on évalue à 5 000 milliards d'euros le marché potentiel si l'ensemble des ressources était exploité en terme d'unités de production à installer.

Cependant, le développement de l'ensemble de ces filières ne pourra se faire qu'avec une réduction du coût du câble électrique sous-marin de raccord au réseau (de l'ordre de 0,5 millions d'euros/km) et l'amélioration des conditions de stockage de l'énergie produite.

### Projection des ressources théoriquement exploitables

<b>Energie marémotrice</b>	400 TWh/an		
<b>Energie hydrolienne</b>	400 à 800 TWh/an	15 à 35 TWh/an (6 à 8 GW installés)	5 à 14 TWh/an (2 à 3 GW installés)
<b>Energie houlomotrice</b>	2 000 à 8 000 TWh/an	150 TWh/an (environ 50 GW installés)	Environ 40 TWh/an (10 à 15 GW installés)
<b>Energie thermique des mers</b>	10 000 TWh/an	0	200 MW installés (Outremer seulement)
<b>Energie osmotique</b>	1 700 TWh/an	200 TWh/an	Non évaluée

### ÉNERGIE MARÉMOTRICE

Cette filière exploite les variations du niveau de la mer, par l'intermédiaire d'usines dites marémotrices afin de produire de l'énergie. Ces usines sont implantées uniquement au sein de baies et d'estuaires car elles nécessitent des amplitudes de marées importantes (10 à 15 mètres en moyenne) afin d'obtenir un rendement optimal. Par conséquent, le nombre de sites potentiels est fortement limité. Actuellement, quatre usines fonctionnent dans le monde, dont celle de la Rance (France) qui représente 90% de la production mondiale d'énergie marémotrice. Mise en service en 1966, cette usine d'une puissance de 240 MW, est unique au monde par sa capacité en comparaison avec d'autres pays : 20 MW pour le Canada, 5 MW pour la Chine et 0,4 MW pour la Russie.

## PROJETS DE DEVELOPPEMENT

Malgré la maturité de cette technologie et la possibilité d'alimenter des villes importantes, les projets d'usines marémotrices sont peu nombreux en raison des coûts élevés et de fortes contraintes. En octobre 2010, le Royaume-Uni a renoncé à son projet d'usine marémotrice sur l'estuaire de la rivière Severn d'une puissance de 8 640 MW pouvant subvenir à 5% des besoins du Royaume. A l'opposé, la Corée du Sud développe un projet de centrale marémotrice à Sihwa d'Ansan, qui devrait se terminer en 2015. Il s'agira de la centrale la plus puissante au monde (254 MW). Elle ne nécessitera pas la réalisation d'un barrage mais fonctionnera à l'aide d'importantes turbines de 1 MW chacune posée au fond de l'eau. La Norvège (Iles Lofoten) accueillera la première usine marémotrice flottante, Morild. Développé par la société Hydra Tidal, Morild dispose de quatre turbines sous-marines à deux pales pour capter les mouvements de la houle et de la marée.

Carbon Trust, organisme britannique à but non-lucratif, estime à 97 milliards de dollars par an la valeur des recettes mondiales issues de la production d'énergie marémotrice.

## ENERGIE THERMIQUE DES MERS

Cette filière exploite l'énergie due à la circulation de masses d'eau à des températures différentes, notamment entre les eaux superficielles et profondes des océans. Cependant, ce type de technologies ne peut être mis en place que sous des conditions spécifiques : température de l'eau d'environ +4°C en profondeur et de +25°C en surface, être installé au niveau de la mer à proximité des côtes et avec assez de profondeur pour des canalisations pouvant aller jusqu'à 1 km de profondeur.

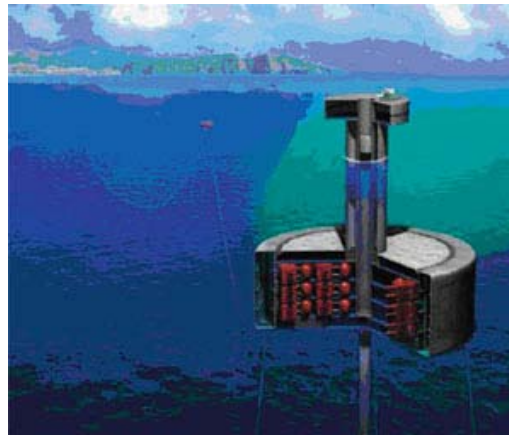
De ce fait, les zones géographiques d'installation des centrales ETM sont extrêmement réduites, limitées aux zones tropicales entre les tropiques du Cancer et du Capricorne. La France, de par ses territoires d'outre-mer, dispose d'une bonne partie des sites pouvant accueillir un tel type de station.

Il existe plusieurs types de centrales ETM.

- Les centrales à cycle ouvert ou fermé, selon que le fluide de travail est l'eau de mer elle-même ou un autre fluide, comme l'ammoniac.

- Les centrales à cycle hybride : utilisant les deux précédentes techniques, ce cycle est complété d'un second niveau qui va produire de l'eau potable par l'intermédiaire d'un cycle ouvert utilisant le différentiel de température de l'eau après un cycle fermé.

### Représentation d'une centrale ETM



## PROJETS DE DEVELOPPEMENT

De nombreux projets sont en cours en Europe, notamment sur les territoires et les collectivités d'outre mer françaises.

- À la Réunion : l'année 2011 devrait voir la mise en place du premier prototype européen d'ETM, réplique à terre de la future centrale pilote, prévue pour 2014 d'une puissance de 10 MW. Ce projet a été initié en 2009 par l'Aerer et a notamment profité de l'aide de la DCNS. Ce groupe français est l'un des leaders mondiaux du naval de défense en plus d'être un innovateur dans l'énergie, grâce à son savoir-faire unique. Il est l'un des premiers acteurs à avoir été certifiés ISO 14001. La DCNS a réalisé un chiffre d'affaire de 2,4 milliards de dollars en 2009. À terme, on estime à 400 millions d'euros par an l'économie ainsi réalisée par l'île de la Réunion.
- En Polynésie française : en septembre 2010, le conseil des ministres de Polynésie française a accordé une subvention à la société Pacific Otec pour le financement d'une étude de faisabilité pour la réalisation d'une centrale ETM. Cette centrale est réalisée en collaboration avec le groupe DCNS et le japonais Xenexys.
- En Martinique : en novembre 2010, le groupe DCNS et la région Martinique ont signé une convention concernant le pré-dimensionnement d'une centrale pilote,

similaire à celle de la Réunion et prévue théoriquement pour 2015.

Sur les 55 zones concernées par la technologie ETM, la France compte 17 zones ayant des besoins minimum de 1 200 MWh, pour assurer leur indépendance énergétique d'ici à 2030. De nombreux acteurs sont présents sur cette filière. En plus du groupe DCNS qui a investi entre 1 et 2 millions d'euros dans le développement de cette technologie, on trouve le groupe américain Lockheed Martin et le britannique BVT, entreprises positionnées sur les secteurs de la Défense et de la sécurité.

- Les systèmes à déferlement : les vagues entrent dans un canal convergent et sont piégées. L'énergie de la houle est ainsi récupérée par une turbine.
- Les systèmes à colonne d'eau oscillante : la houle fait varier la hauteur d'eau dans la colonne d'eau, ce qui provoque une augmentation de la pression dans la partie haute de la colonne. L'air est détendu à travers une turbine.

## ÉNERGIE HOULOMOTRICE

Il s'agit de récupérer l'énergie produite par les vagues, à l'aide de convertisseurs appelés « houlogénérateurs ». Différents types de systèmes existent (cf. tableau ci-dessous) et de nombreux projets sont actuellement en cours.

- Les systèmes à corps mus par la houle : des flotteurs oscillent verticalement en fonction de la surface de l'eau et entraînent des convertisseurs d'énergie ou le mouvement entre une partie verticale mobile et une partie fixe permet de produire de l'énergie par déplacement d'une pièce par rapport à l'autre grâce à la mer

## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

L'un des inconvénients majeurs de l'énergie issue de la houle est son prix, trois fois plus élevé que l'énergie provenant des éoliennes, bien que les différents développements technologiques aient permis une réduction significative des coûts. Actuellement, l'investissement est estimé entre 1 000 et 3000 euros/kW, selon la technologie et la localisation géographique, pour une durée de fonctionnement de 4 000 heures/an à pleine puissance. Cependant, le caractère prédictible de la houle fait de cette technologie une bonne alternative à l'énergie éolienne.

Le marché européen de l'énergie houlomotrice est estimé à 49 millions d'euros. Le marché mondial représente 10 fois cette valeur. De plus, les États-Unis étant peu impliqués dans le développement de cette technologie, l'Europe dispose de toutes les clefs pour devenir un acteur prépondérant sur ce secteur.

## PROJETS DE DEVELOPPEMENT

	Systèmes OWC (colonne d'eau oscillante)	Systèmes oscillants		Systèmes à franchissement	Autres
		Translation	Rotation		
Offshore	Systèmes ancrés au fond (ou en mvt / à une structure ancrée au fond) <b>OceanLinx</b> <b>(Mighty Whale)</b> <b>OceanEnergy</b> <b>Sperbuoy</b>	<b>Wavebob</b> , <b>OPT Powerbuoy</b> , <b>(AquaBuoy)</b>	<b>Pelamis</b> , <b>SEAREV</b> , <b>PS Frog</b>	<b>Wave Dragon</b>	<b>Anaconda</b> <b>Polymères électro-actifs (SRI)</b>
Nearshore	Systèmes fixés/articulés au fond (ou en mvt / à une structure fixée au fond)	<b>FO3</b> <b>WaveStar</b> <b>CETO</b> , <b>AWS</b> <b>Seabased</b> <b>Wavetreader</b> (sur éolienne)	<b>Oyster</b> , <b>WaveRoller</b> , <b>RicWave</b>  <b>ECOFYS</b> (sur éolienne)		<b>Rotors de type Savonius</b> (au fond ou sur éolienne)
	Systèmes fixés/articulés ou intégrés sur un ouvrage côtier ou portuaire	<b>Wavegen</b> ( <b>Mutriku</b> , <b>Ile Lewis</b> ) <b>Sakata</b> <b>Estuaires Douro</b>		<b>SDE</b> (Israël)	<b>SSG</b>
Côte	Systèmes spécifiques construits à la côte	<b>PICO</b> , <b>Wavegen</b> ( <b>Limpet</b> , <b>SeWave</b> )			<b>TAPCHAN</b> (avec concentrateurs)

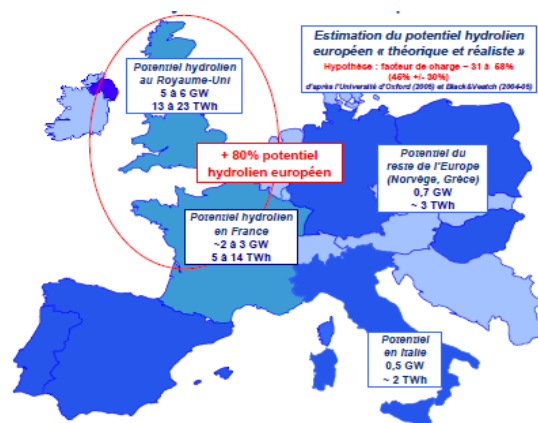
Classification des différents systèmes « houlogénérateurs »

Actuellement, de nombreux projets sont en cours de réalisation en Europe, tel le projet Bilboquet de la société D2M, spécialisée dans l'offshore et la défense. L'avantage du bilboquet sur les systèmes existants est qu'il peut être ancré à des profondeurs variées et qu'il peut être utilisé indépendamment de la direction de la houle. À terme, l'ambition de D2M est la production de 2MW d'énergie, avec une optimisation du rendement énergétique allant de 1 500 à 3 500 kW. Parallèlement à ces projets d'installation, les projets de turbines hydroliennes fleurissent. On soulignera la super double turbine AK1000 développée par la société Atlantis Ressources, basée à Singapour et à Londres. Cette hydrolienne, la plus puissante jamais réalisée, est capable de produire 1 MW grâce à son double rotor de 18 mètres de diamètre et a été conçue pour affronter des conditions extrêmes. L'hydrolienne est actuellement immergée à l'EMEC (European Marine Energies Center), situé en Écosse.

## ENERGIE HYDROLIENNE

Cette filière exploite l'énergie cinétique des courants marins ou de cours d'eau, de la même manière qu'une éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air. La turbine de l'hydrolienne permet la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique. À l'aide d'un alternateur, cette énergie est ensuite transformée en énergie électrique. En Europe, la France dispose du second gisement européen (3 GW) derrière le Royaume-Uni (5 à 6 GW), le reste de l'Europe disposant de 1 GW de ressources. La majeure partie des sites de production français sont concentrés entre la Bretagne et le Cotentin. On estime entre 30€/MWh et 60€/MWh le coût de l'électricité issue de l'hydrolien lorsque que la capacité installée sera de 700 MW.

## Répartition du potentiel hydrolien européen



## AVANTAGES ET INCONVENIENTS

L'énergie hydrolienne, contrairement à l'énergie éolienne, a l'avantage d'être totalement prédictible. Les courants sont inépuisables et leur intensité calculable et mieux prévisible que les vents. De plus, le fait qu'elles soient posées sur les fonds marins évite une dénaturation du paysage, souvent reproché aux éoliennes.

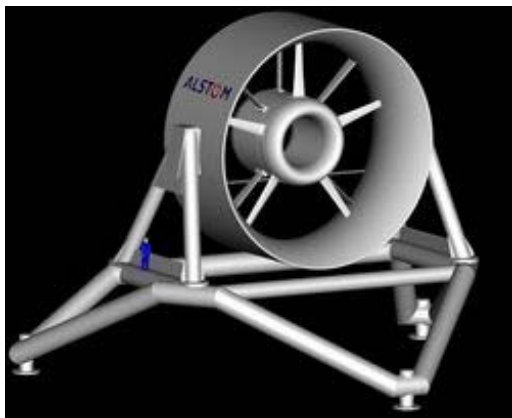
Le principal problème posé par cette technologie repose sur la difficulté de construire une turbine assez robuste pour supporter la force des courants marins et la corrosion provoquée par le sel. En outre, les coûts de maintenance ne sont pas négligeables.

## PROJETS DE DEVELOPPEMENT

Le groupe Alstom a inauguré en décembre 2010 à Nantes son centre de décision de l'activité « Énergies marines » d'Alstom Hydro, dédié à l'énergie hydrolienne. La Beluga 9, turbine d'Alstom issue d'une technologie développée par le canadien Clean Current, sera testée au Canada, avant d'être ensuite testée en Bretagne en 2013. À terme, Alstom souhaite produire une centaine de turbines par an afin de fournir des parcs « clés en main » de plusieurs centaines de mégawatt à partir de 2020.



### Représentation de l'hydrolienne développée par Alstom



En 2011, EDF se prépare à l'ouverture du premier parc hydrolien français, au large des cotes de Paimpol. Les hydroliennes, d'une capacité de 500 kW choisis par EDF ont été réalisées par la société irlandaise Open Hydro et ont pour particularité d'être posées sur le fond marin, contrairement à celles du britannique Marine Current Turbines qui avait également répondu à l'appel d'offre. D'ici 2012, la ferme composée de quatre turbines d'une puissance totale de 2 MW sera connectée au réseau électrique national. Pour la réalisation de ce projet, EDF dispose d'un budget de 24 millions d'euros dont 7,2 millions d'euros de soutien public. Ce projet d'envergure nationale, sous la tutelle de l'Ifremer, réunit différents acteurs régionaux et industriels (DCNS, Alstom Power, Areva, etc.).

D'autres projets sont toujours en cours, tels que ceux de Sabella SAS et Sofresid Engineering travaillent sur un projet de turbines à axe horizontal, alors qu'EDF, en partenariat avec l'institut polytechnique de Grenoble, dans le cadre du projet Harvest développent une hydrolienne à axe vertical. En parallèle à ces projets d'envergure, de nombreux projets communaux sont en train de naître, notamment à Paris et à Bordeaux. Plusieurs projets d'implantation d'hydroliennes dans la Seine et la Garonne sont à l'étude.

## ÉNERGIES MARINES

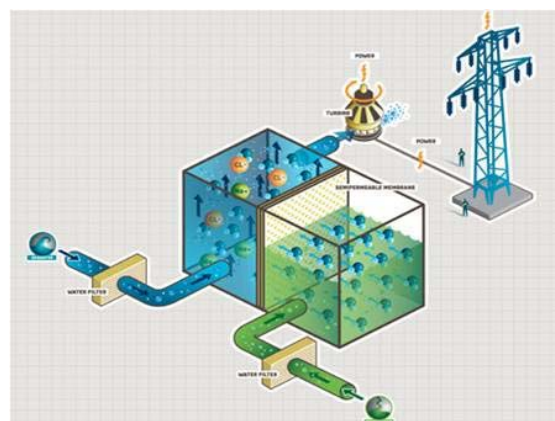
### ÉNERGIE OSMOTIQUE

Cette filière exploite les différences de concentration en sel entre deux masses d'eau.

La mise en contact de ces deux masses entraîne le passage des molécules d'eau du milieu le moins concentré au plus concentré afin de rétablir l'équilibre. Il s'agit du phénomène de pression osmotique. Lorsqu'une membrane semi-perméable sépare les deux milieux, l'eau franchit la membrane en créant une surpression qui est utilisée pour alimenter une turbine hydroélectrique. Avec un potentiel mondial de 1 600 TWh, cette technologie suscite l'intérêt des pouvoirs publics et des industriels, malgré ses inconvénients. En outre, les centrales osmotiques doivent être installées à proximité des estuaires, qui offrent accès en grande quantité à l'eau douce et à l'eau salée. En France, seul le site de Sainte-Rose sur l'île de la Réunion présente un fort intérêt et un projet pilote est à l'étude.

L'une des raisons principales de l'absence de développement de ce moyen de production d'énergie est liée à un problème d'efficacité et de résistance du matériel.

### Principe de fonctionnement d'une centrale osmotique



## ÉNERGIE BIOMASSE

Comme son nom l'indique, cette énergie utilise la biomasse, notamment les algues, pour la production de biocarburants d'origine marine. Pour ce faire, les algues peuvent être cultivées de deux manières, en bassins ouverts et en photo-bioréacteurs. De nombreux projets de recherches d'« algocarburants » sont à l'étude en France, et notamment le projet Bioalgotral, à la Réunion, visant à créer un démonstrateur industriel de production de biocarburant sur 5Ha, ou encore le projet Shamash où neuf partenaires scientifiques et industriels cherchent à identifier les meilleures souches de microalgues pour la culture en bioréacteurs et la production de carburant.

Actuellement, la France dispose d'une certaine avance dans les projets concernant ce type d'énergie.

## PRINCIPAUX ACTEURS DES EMR

Le tableau ci-dessous récapitule de manière non exhaustive les principaux acteurs des énergies marines renouvelables.

	Marémotrice	Houlomotrice	Thermique	Hydrolienne
<b>Industriels</b>	Hydra Tidal, EDF	SBM, Atlantis, Ressources, Pelamis Wave Power Ltd, EDF, Wave Dragon, ASp	D2M, DCNS, Pacific OTEC, Xenosys	Alstom Hydro, Open Hydro, Marine Current Turbines, Energies de la Lune, HydroHélix, Clean Current Power Systems, Lunar Energy, Marlec, Blue Energy
<b>Institutionnels et structures de Recherche</b>	EMEC, Syndicat des Energies Renouvelables, France Energies Marines, Ifremer, Ecole centrale de Nantes, Institut National Polytechnique de Grenoble, CEA, CNRS, IFP Energies Nouvelles, UBO, Ecole navale			
<b>Pôles de compétitivité</b>	Pôle mer Bretagne, Pôle mer PACA			

- Énergie de la Lune  
<http://www.energiedelalune.fr>
- Nantes-développement.com  
<http://www.nantes-developpement.com/Members/mgdesign/maguettes-3d-2013-energie-thermique-des-mers-etm>
- Énergies marines hydrolienne et houlomotrice. Exemples de projets et de travaux R&D  
[http://www.enseignement.polytechnique.fr/mecanique/Confs/Benoit\\_conf.pdf](http://www.enseignement.polytechnique.fr/mecanique/Confs/Benoit_conf.pdf)
- Nouvelles énergies, nouvelles technologies  
[http://www.medef.com/fileadmin/www.medef.fr/documents/Guide\\_Nouvelles\\_energies\\_nouvelles\\_technologies/Guide\\_Nouvelles\\_energies\\_nouvelles\\_technologies.pdf](http://www.medef.com/fileadmin/www.medef.fr/documents/Guide_Nouvelles_energies_nouvelles_technologies/Guide_Nouvelles_energies_nouvelles_technologies.pdf)
- Mer et Marine  
<http://www.meretmarine.com/article.cfm?id=114639>
- CleanTech Republic  
<http://www.cleantechrepublic.com/2010/08/26/ak1000-hydrolienne-la-plus-puissante-jamais-construite/>
- Agrion, Global Network for Energy  
[http://www.agrion.org/articles/agrion-fr-Pourquoi\\_les\\_energies\\_marines\\_sont\\_elles\\_en\\_retard\\_.htm](http://www.agrion.org/articles/agrion-fr-Pourquoi_les_energies_marines_sont_elles_en_retard_.htm)
- Récupération de l'énergie hydraulique et des océans, Rapport CETIM
- France énergies marines, Institut d'excellence dans le domaine des énergies décarbonées

## RÉFÉRENCES

- Stratégies EDF  
<http://strategie.edf.com/nos-positions/les-energies-renouvelables-40548.html>
- Rapport énergies marines renouvelables, Gisèle Gauthier  
[http://www.actualite-de-la-formation.fr/IMG/pdf/rapport\\_gisele\\_gautier-2.pdf](http://www.actualite-de-la-formation.fr/IMG/pdf/rapport_gisele_gautier-2.pdf)
- Blog Énergies de la mer  
<http://energiesdelamer.blogspot.com>

Note rédigée par Bernard Bellot et Nicolas Pétris (Nodal Consultants).

**Ensemble** pour les entreprises de la mécanique



Département  
Veille Technologique et Stratégique

### Contact

Jacques Loigerot  
Cetim - B.P. 80067  
60304 Senlis Cedex  
Tél. : 03 44 67 31 56  
[Jacques.loigerot@cetim.fr](mailto:Jacques.loigerot@cetim.fr)



Retrouvez nos notes de veille dans la Mécathèque du site CETIM :  
<http://www.cetim.fr/cetim/fr/Mecattheque>