

MASTER Mécanique et Ingénierie mécanique
spécialité
Conception Industrielle Globalisée

MANAGEMENT INDUSTRIEL

ECOBILAN

ENERGIE BLEUE

SOMMAIRE

I. Introduction.....	2
II. Les divers système de conversion de l'énergie bleue.....	3
II.1. Les systèmes à vague.....	3
II.1.a. Systèmes à Flotteurs	3
II.1.b. Systèmes Immergés	5
II.1.c. Systèmes Articulés.....	6
II.1.d. Système à compression de l'air	6
II.1.e. Systèmes à débordement.....	8
II.1.f. Système à aileron	12
II.2. Les systèmes à courant	13
II.2.a. Turbines à axe horizontal.....	13
II.2.b. Turbine à axe vertical	16
II.3. Les systèmes à marée.....	17
III. L'énergie des vagues et de la houle	18
IV. Les installations.....	23
V. Conclusion.....	24

I. Introduction

C'est en 1799 que le premier brevet pour une machine destinée à récupérer l'énergie des vagues apparaît. Entre 1855 et 1973, quelques 340 brevets ont été déposés. Plusieurs modèles de convertisseur d'énergie des vagues ont été conçus et examinés à l'échelle de maquettes. Certains ont trouvé leur place sur les côtes ou à proximité pour étudier leur capacité à échelle réelle. En Europe, l'étude intensive des bureaux de recherches et de développement sur la conversion de l'énergie de vague a commencé après l'augmentation dramatique des prix du pétrole dans 1973. Plusieurs programmes de recherche lancés par les gouvernements et des firmes privées ont commencé, principalement au R-U, au Portugal, en Irlande, en Norvège, en Suède et au Danemark. Actuellement il existe plus de 1.000 brevets dans le monde liés à l'énergie de vague.

Les vagues des océans sont une forme d'énergie éolienne qui est concentrée dans la surface de l'eau de mer. Un frottement se développe entre l'air et l'eau pendant que le vent souffle à travers l'eau, et des vagues sont produites pendant que l'énergie est transférée entre ces deux éléments. La prise de mouvement des vagues, et sa traduction en énergie mécanique ou électrique, produit de l'énergie des vagues. Des systèmes à flotteur, articulés ou rotatifs ont été développés pour en tirer le meilleur parti.

De plus, les courants marins viennent s'ajouter à ce premier phénomène. Liés à la température de l'eau, à la rotation de la Terre ainsi qu'au phénomènes de marée, ils entraînent le déplacement de grande quantité d'eau en surface comme en profondeur. Des systèmes spécifiques destinés à capter l'énergie de ce mouvement massif ont été développés mais sont pour la plupart toujours au stade expérimental. Il s'agit principalement de l'adaptation des techniques éoliennes au milieu marin, les « hydroliennes ».

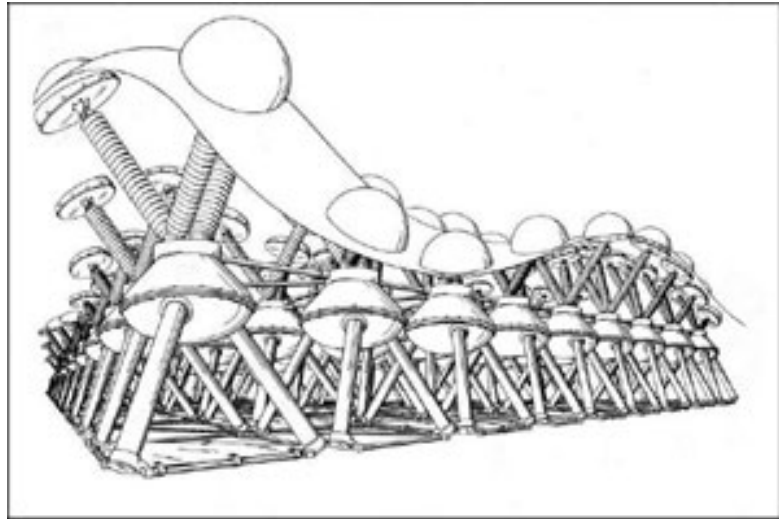
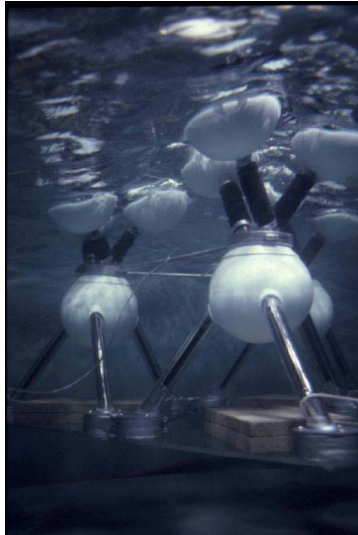
Enfin, l'une des premières à avoir été exploitée en France et l'énergie marémotrice. Le cycle lunaire de 28 jours combiné à la rotation de la Terre en 24 heures engendre le soulèvement alternatif des masses d'eau. La Terre étant recouverte à 70% d'eau, ce phénomène est très répandu. Des barrages combinés à des turbines permettent de récupérer cette énergie. Ils sont principalement situés dans les régions à fort coefficient de marée.

II. Les divers système de conversion de l'énergie bleue

II.1. Les systèmes à vague

II.1.a. Systèmes à Flotteurs

❖ OWEC Ocean Wave Energy Converter™



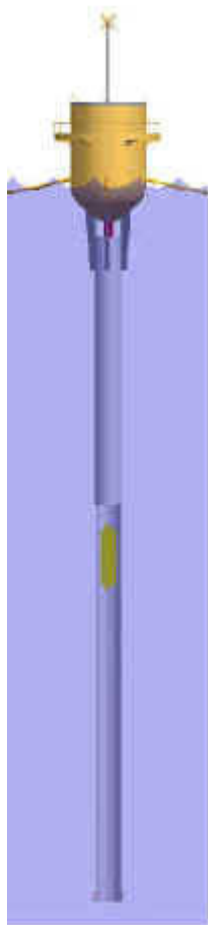
L'entreprise Oweco (Ocean Wave Energy company) située aux Etats-Unis à Bristol, Rhodes Island, présente son projet de convertisseurs d'énergie des mers, constitué d'un flotteur soumis au mouvement des vagues en surface, relié par un tube coulissant dans un cylindre à un second flotteur fixé au fond de l'eau.

❖ Wavebob



Le Wavebob, de la société ClearPower Technology Ltd repose sur le mouvement d'une bouée sous l'effet des vagues. Ce convertisseur d'énergie des vagues est développé dans le cadre du programme européen Eureka WVEC.

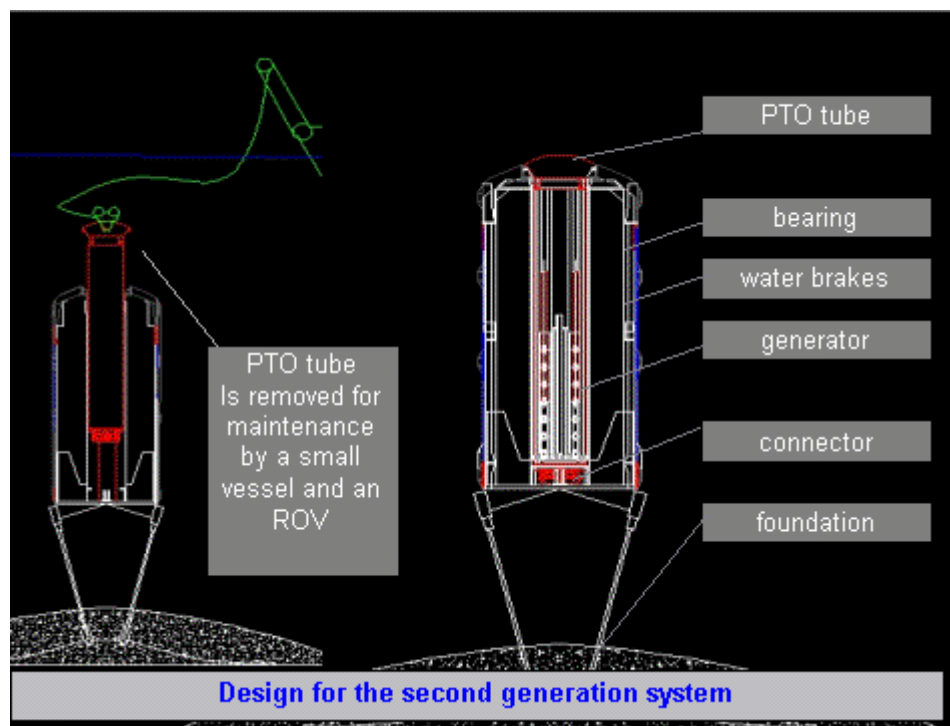
❖ IPS OWEC (Offshore Wave Energy Converter) Buoy



La firme Interproject Service présente son "OWEC Buoy", qui fournit de l'énergie par compression verticale de deux pistons.

II.1.b. Systèmes Immergés

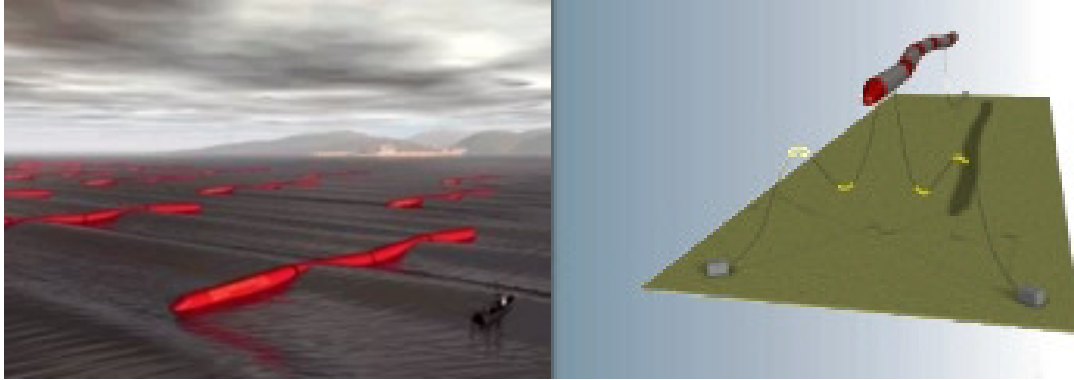
❖ Archimedes Wave Swing (AWS)



Les 420 tonnes et les 10 m de diamètre du flotteur se déplacent sans à-coup de haut en bas sous la surface actionnés par la pression interne des vagues, alors que le générateur linéaire interne fabrique l'électricité. C'est par un câble sous-marin de 5,4 kilomètres de long que l'énergie est transportée au rivage où le convertisseur et le transformateur adaptent l'énergie à celle du réseau du continent portugais.

II.1.c. Systèmes Articulés

❖ Le Pelamis



le Pelamis est une structure semi-submergée et articulée composée de sections cylindrique liées par des joints articulés. Le mouvement ondulé induit de ces joints est repris par des béliers hydrauliques, qui pompent l'huile à haute pression vers les moteurs hydrauliques par l'intermédiaire d'accumulateurs. Les moteurs hydrauliques entraînent les générateurs électriques. La puissance de toutes les articulations alimente un câble ombilical unique relié au fond marin. Plusieurs dispositifs peuvent être reliés ensemble et liés au rivage par un câble unique au fond de la mer.

II.1.d. Système à compression de l'air

❖ Le mighty Whale (Japon)



Il fonctionne aussi par la compression de l'air par le mouvement des vagues, puis passage de cet air dans une turbine qui transforme ce mouvement en électricité.

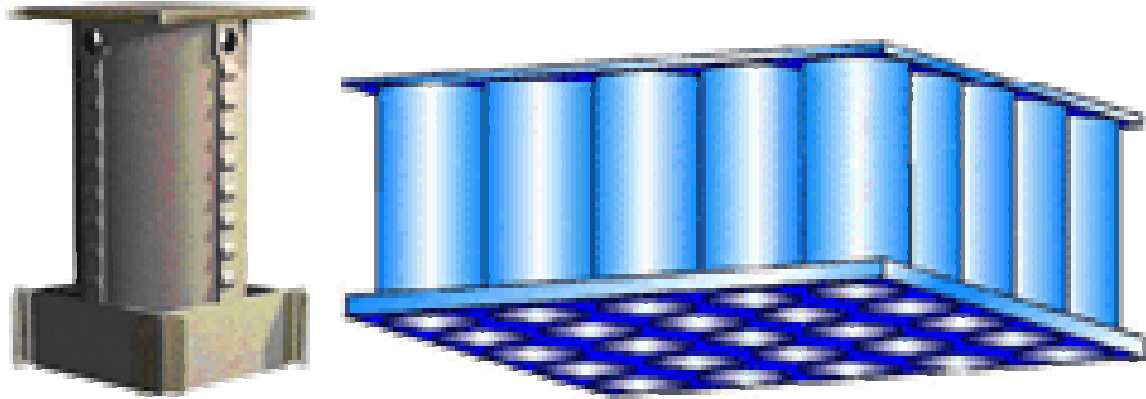
❖ multiple oscillating water column, MOWC



La Société Orecon, partenaire de l'Université de Plymouth, travaille sur le projet d'une centrale qui utilise le concept de multiples colonnes d'eau (multiple oscillating water column, MOWC) pour produire de l'énergie. Après avoir fait des essais avec des modèles réduits, Orecon travaille maintenant sur un projet à échelle réelle ayant une capacité de production de 1MW par unité pour démontrer la rentabilité commerciale des MOWC. Cette unité devrait être construite sur la côte anglaise et pourrait fournir de l'énergie d'ici 2005-2006, et une vingtaine d'autres unités devraient voir le jour d'ici 2010.

Le principe est basé sur une colonne d'eau oscillante sans fond dans laquelle les vagues s'engouffrent par le bas, emprisonnant l'air qui s'échappe vers le haut en actionnant une turbine. C'est le principe bien connu des siphons des calanques de Cassis. Pour être efficaces, ces colonnes d'eau doivent s'adapter aux différentes fréquences des vagues et utiliser l'énergie de ressac.

❖ Float Incorporated,



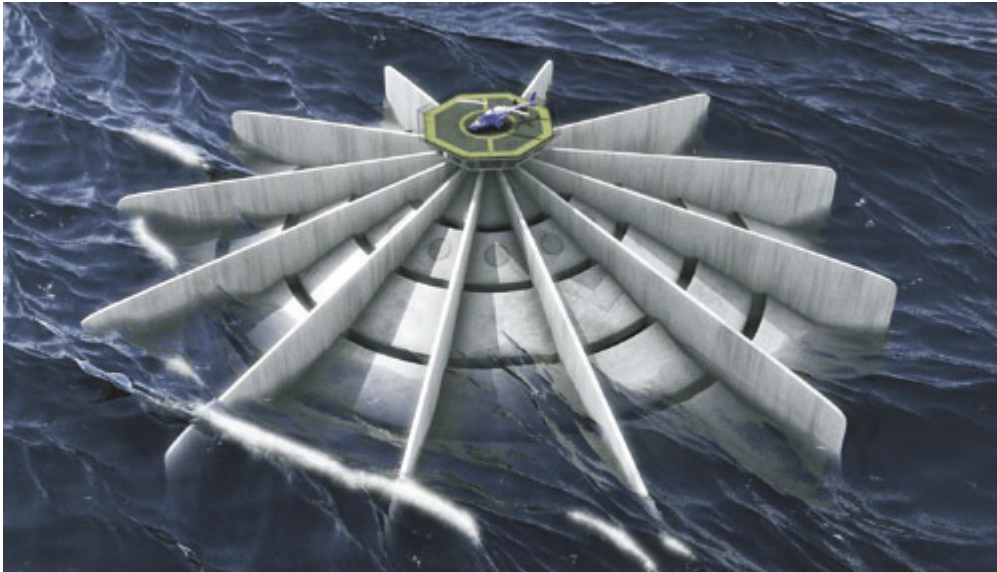
Elle développe une plate-forme en mer à stabilisation pneumatique PSP (Pneumatically Stabilized Platform). Elle est constitué d'un grand nombre de structures cylindriques placées côte à côte qui sont fermé uniquement sur leur partie haute, donc l'eau est présente dans leur partie basse, et grâce à une ouverture entre les cylindres, lorsque l'eau monte dans l'un deux, il se crée un flux d'air entre les cylindres qui stabilisent la plate-forme et peut servir à produire de l'énergie.

La plate-forme avait été conçue à l'origine pour accueillir des ports ou des aéroports flottants, la production d'énergie servant à rendre autonome la plate-forme. Il est maintenant envisagé de fabriquer cette plate-forme uniquement pour produire de l'énergie. Le seul inconvénient est que l'on ne peut pas réaliser de modèle réduit, il faut faire des tests en taille réelle.

II.1.e. Systèmes à débordement

❖ Bølgekraftwerk

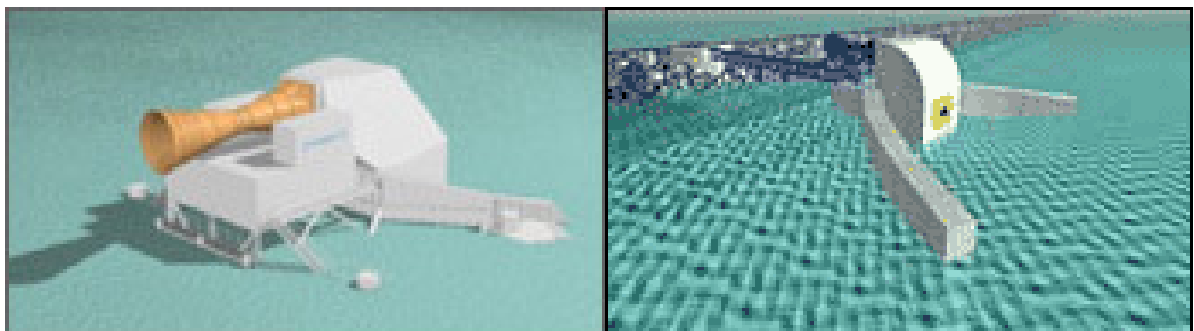




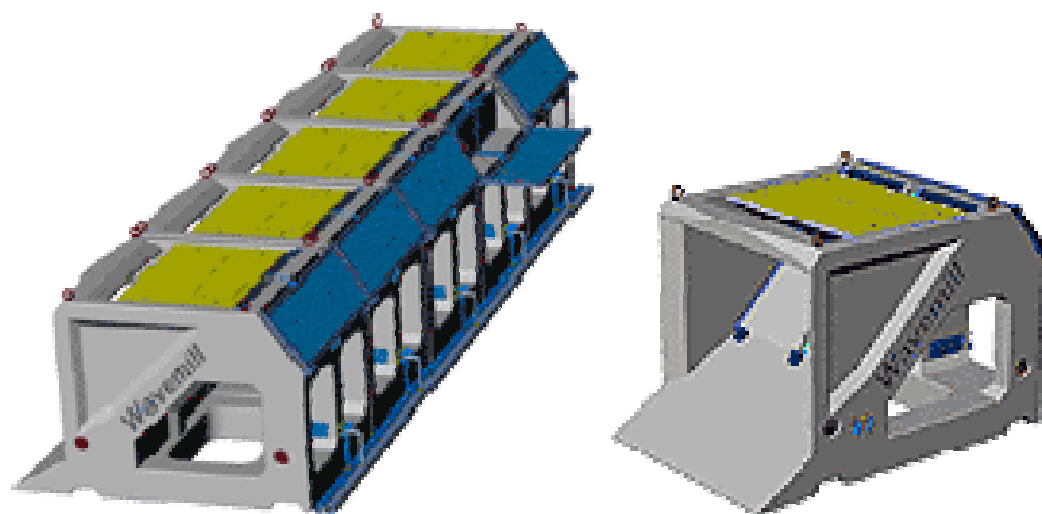
Cette firme norvégienne à mis au point le SSG, qui est en fait un mélange de plusieurs techniques. L'eau, par le mouvement des vagues pour le modèle en pleine mer et la marée pour les modèles sur la côte, montent sur la structure puis tombent dans des colonnes qui finissent par des turbines à eau.

❖ Energetech

Cette firme australienne utilise un système qui concentre les vagues jusqu'à la turbine qui convertira leur énergie en électricité.

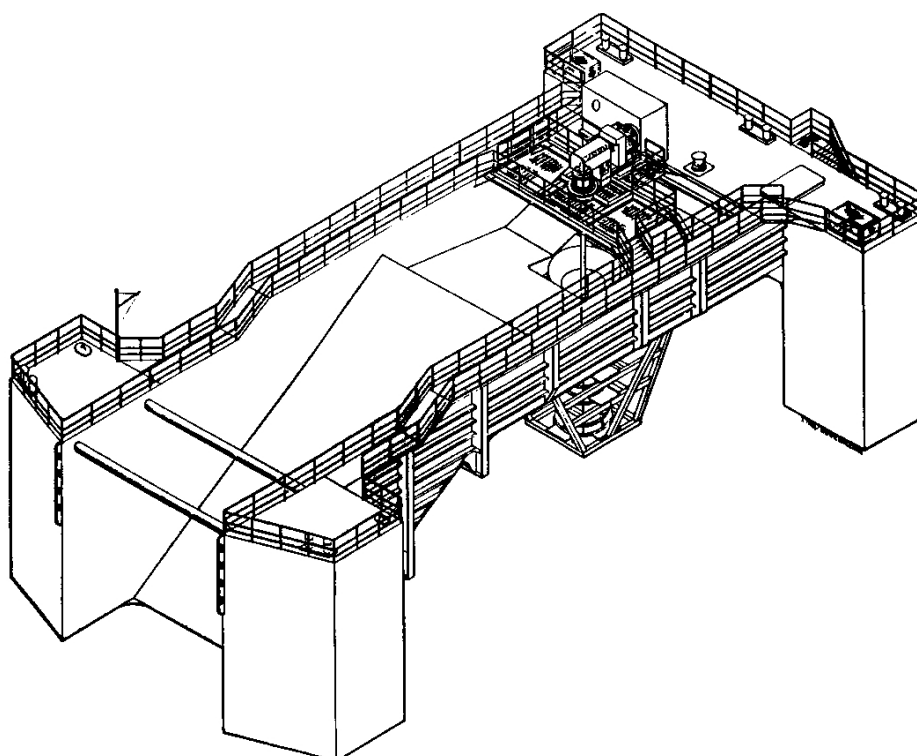


❖ [Wavemill](#)



Cette firme fournit des "moulins à eau" de différentes tailles, qui permettent soit de produire de l'eau dessalinisée, soit de l'électricité, soit les deux.

❖ [Seapower](#)



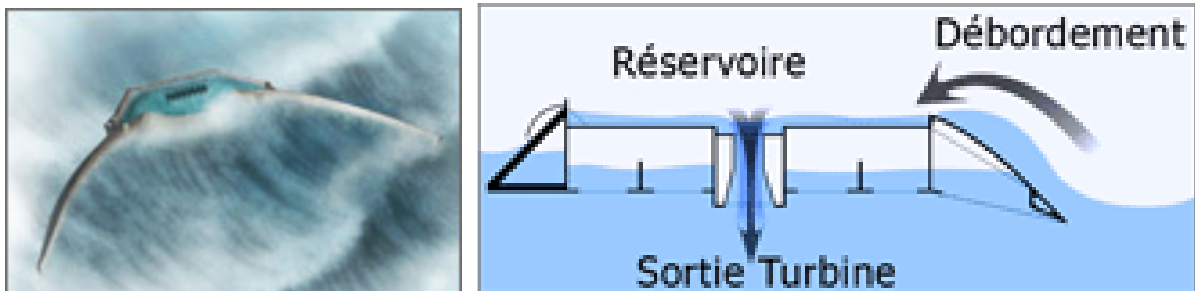
❖ Waveplane



Il utilise la crête des vagues qui sont coupées par la forme de l'engin, puis coulent dans des tubes d'inertie qui entraînent des turbines et produisent donc de l'énergie. On estime que 25% de l'énergie des vagues peut être convertis en électricité.

Le Waveplane a été testé au Danemark et au Japon, en bassin et en mer.

❖ WaveDragon



Lövenmark a mis au point le WaveDragon qui utilise le débordement des vagues pour entraîner des turbines. Le projet est actuellement en test à échelle réduite, et est aidé par la Commission Européenne.

En grandeur originale, le "Wave Dragon" pèsera 21.750 tonnes et aura une puissance de 4 MW qu'il pourra injecter dans le réseau électrique. Il est prévu de rassembler plusieurs générateurs entraînés qui transformeront à plus de 25 km de la côte l'énergie des vagues en électricité qui sera transmise par câble au réseau électrique.

Le générateur flottant se compose essentiellement de trois éléments :

- Deux déflecteurs qui dévient les vagues en direction d'une rampe.

- Une coque dont la rampe courbée amène l'eau dans un bassin d'accumulation (réservoir) au-dessus du niveau de la mer.
- Des turbines Kaplan à travers lesquelles l'eau s'écoule du bassin d'accumulation dans la mer en produisant de l'électricité.

II.1.f. Système à aileron

❖ Engineering business

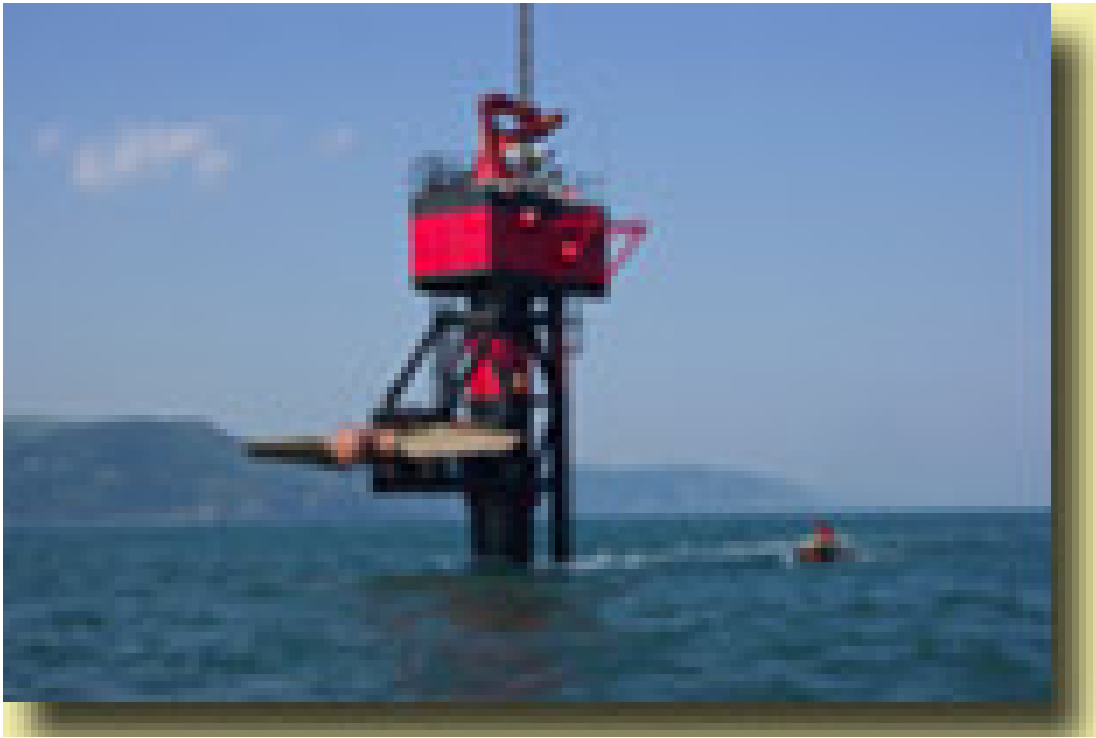


Cette firme à conçu un générateur d'énergie de la forme d'une queue de baleine; celui-ci est placé au fond des mers.

II.2. Les systèmes à courant

II.2.a. Turbines à axe horizontal

❖ IT Power



C'est une entreprise britannique va bientôt commercialiser un prototype de turbine sous-marine afin d'utiliser l'énergie cinétique des marées sous forme d'électricité, elle installera bientôt un prototype dans la Manche

Comme celles des bras de mer ou des détroits, les marées de la Manche sont particulièrement puissantes : de 2 à 3 m/s.

Les premiers tests montrent qu'en fonction de la force des marées les pales de la turbine effectueront de six à douze rotations par minute, fournissant une puissance de 300 à 600 kW qui pourra alimenter le réseau d'électricité national. La turbine mesure environ 12m de diamètre.

❖ Marine current technology



Fabricant d'hydroliennes pour le compte des entreprises exploitantes

❖ HAMMERFEST STRØM AS



Fabricant d'hydroliennes pour le compte des entreprises exploitantes

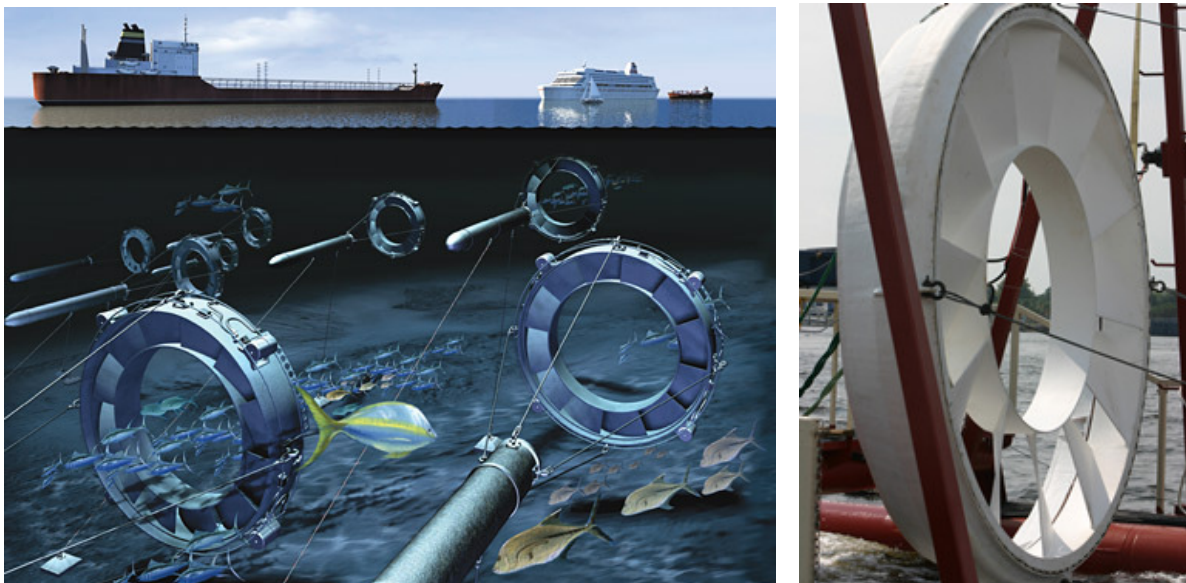
❖ Tidel



La société anglaise SMD Hydrovision a développé un système d'extraction de l'énergie des courants de marée, nommé TidEL. Il s'agit de deux turbines de 500 kW tournant en sens inverse montées sur un même support. L'assemblage flotte et est ancré sur le fond par des chaînes d'amarrage.

Un prototype à l'échelle 1/10ème a été testé en Janvier 2004 au NaREC (Centre anglais des énergies renouvelables). Un autre prototype de 15m est prévu en 2005.

❖ Gulf Stream turbines



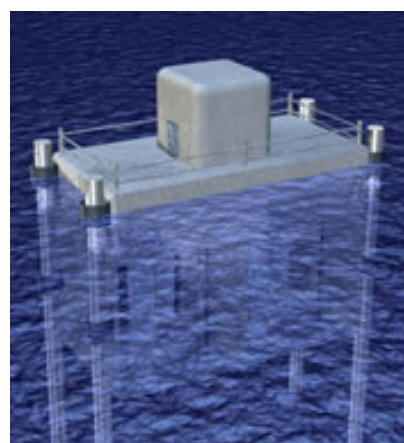
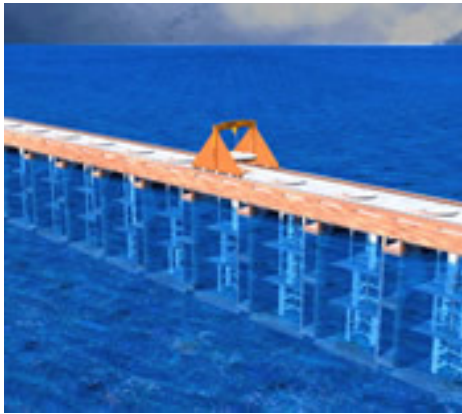
La société [FHPL \(Florida Hydro Power and Light\)](#) a développé une turbine spécialement conçue pour être placée dans des courants océaniques tels que le Gulf Stream.

La turbine comportant deux rotors en fibre de verre, d'un diamètre de 30m, devra fournir 3MW. La machine sera ancrée sur le fond marin, au moyen de câbles. Le coût de fabrication pour un série de 400 turbines serait de 400 euros par kW, ce qui rendrait le système concurrentiel face à une centrale électrique moderne.

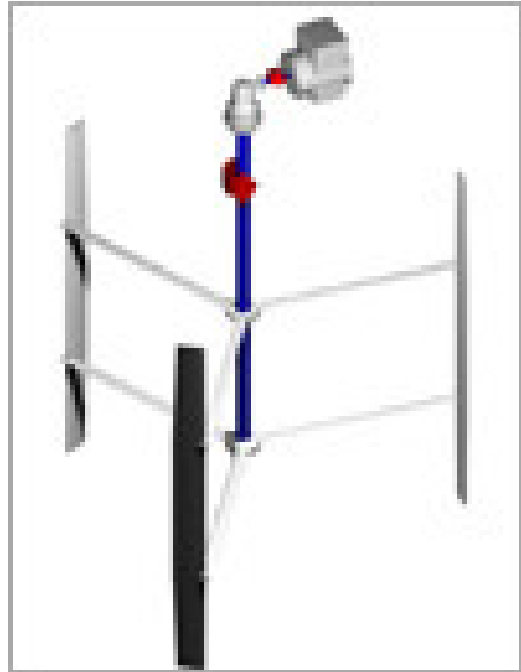
Le système pourrait être utilisé pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, avec un coût de production estimé inférieur à 2\$ par kg.

II.2.b. Turbine à axe vertical

❖ Blue Energy



❖ Ponte di Archimede



Cette société italienne fabrique un système composé d'une structure flottante et d'une turbine Kobold brevetée. Cette turbine est à axe verticale à trois pales, étudiée pour la conversion de l'énergie des courants marins.

Une installation est en cour d'essais en Italie, et une autre est prévue en Chine.

II.3. Les systèmes à marée

❖ L'usine marémotrice de la Rance (France)



Elle fonctionne depuis 1968 et utilise la force des marées pour produire de l'électricité. Les premiers chantiers furent ouverts début 1961 et en juillet 1963 la rance était coupée. L'usine fut inaugurée par le Général De Gaulle, Président de la république en 1966 et le 24ème groupe était en service le 4 décembre 1967. L'usine fait 390m de long et produit 544 millions de kWh (par an?), et le coût du kWh est inférieur à celui produit par le nucléaire, 18 centimes contre 25 pour le nucléaire.

❖ Le projet LIMPET (Ecosse)



Il fonctionne depuis Novembre 2000, il produit 500kW et fournit 400 foyers en électricité

III. L'énergie des vagues et de la houle

L'énergie des vagues n'est jamais qu'une forme particulière de l'énergie solaire. Le soleil chauffe inégalement les différentes couches atmosphériques ce qui entraîne des courants aériens (vents) eux-mêmes responsables par frottement des mouvements qui animent la surface de la mer (courants, houle, vagues).

Les vagues créées par le vent à la surface des mers et des océans transportent de l'énergie. Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle flottant ou côtier elles peuvent céder une partie de cette énergie qui peut être transformée en courant électrique. C'est là où les vents sont les plus forts, entre 40° et 60° de latitude, que la puissance des vagues est maximum.

La puissance moyenne transportée par les vagues est donnée en kW par mètre linéaire. Elle est proportionnelle à la période des vagues (durée qui sépare l'arrivée de deux crêtes de vagues successives) et au carré de la hauteur de la vague (distance entre le creux et la crête). Ce potentiel est de 63 kW/m au large d'Ouessant, de 50 kW/m en moyenne sur la côte Atlantique et de 8 kW/m en méditerranée.

On caractérise également l'énergie des vagues par l'énergie qui arrive pendant une année sur un mètre linéaire d'installation.

Sur la côte Atlantique française ce potentiel est de 420 MWh/m. Sur 1000 km de côte Atlantique l'énergie annuelle transportée par les vagues est 420 TWh, c'est l'ordre de grandeur de l'énergie électrique totale consommée en France chaque année.

Bien entendu cette ressource totale est très supérieure à la ressource effectivement accessible en tenant compte des limitations techniques et des limitations naturelles ou légales qui réduisent le domaine utilisable, sans parler de l'acceptabilité sociale qui peut interdire encore certains sites. En Angleterre la ressource techniquement accessible est estimée entre 60 et 87 TWh/an.

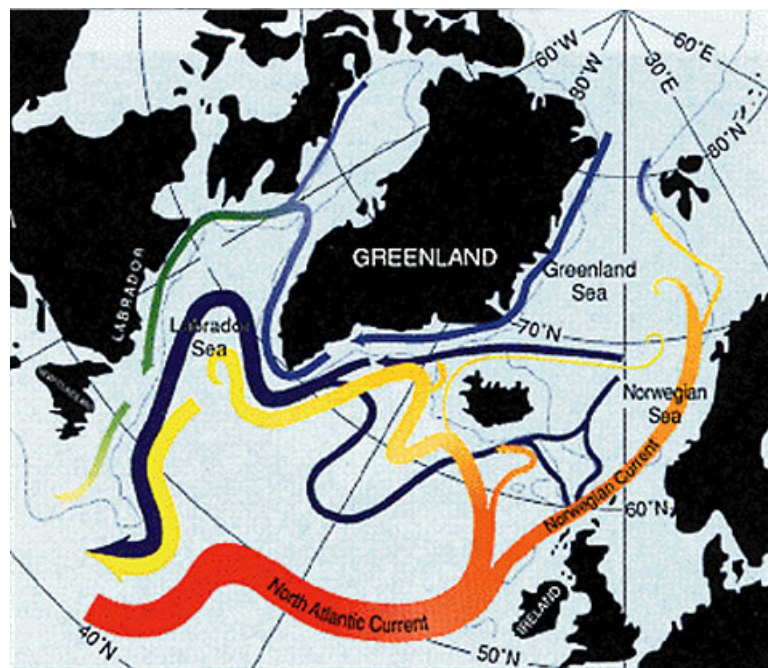
Potentiel des front de vague dans le monde (en kW/m)



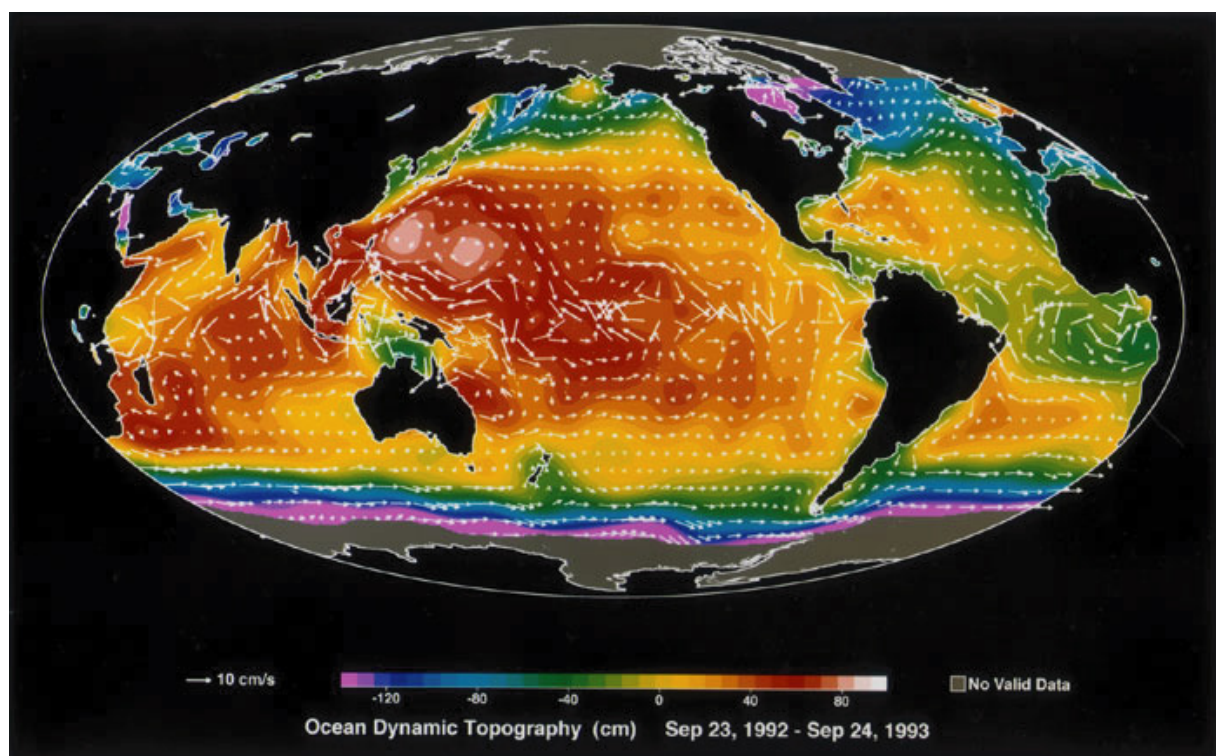
Europe



Principaux courant nord atlantiques

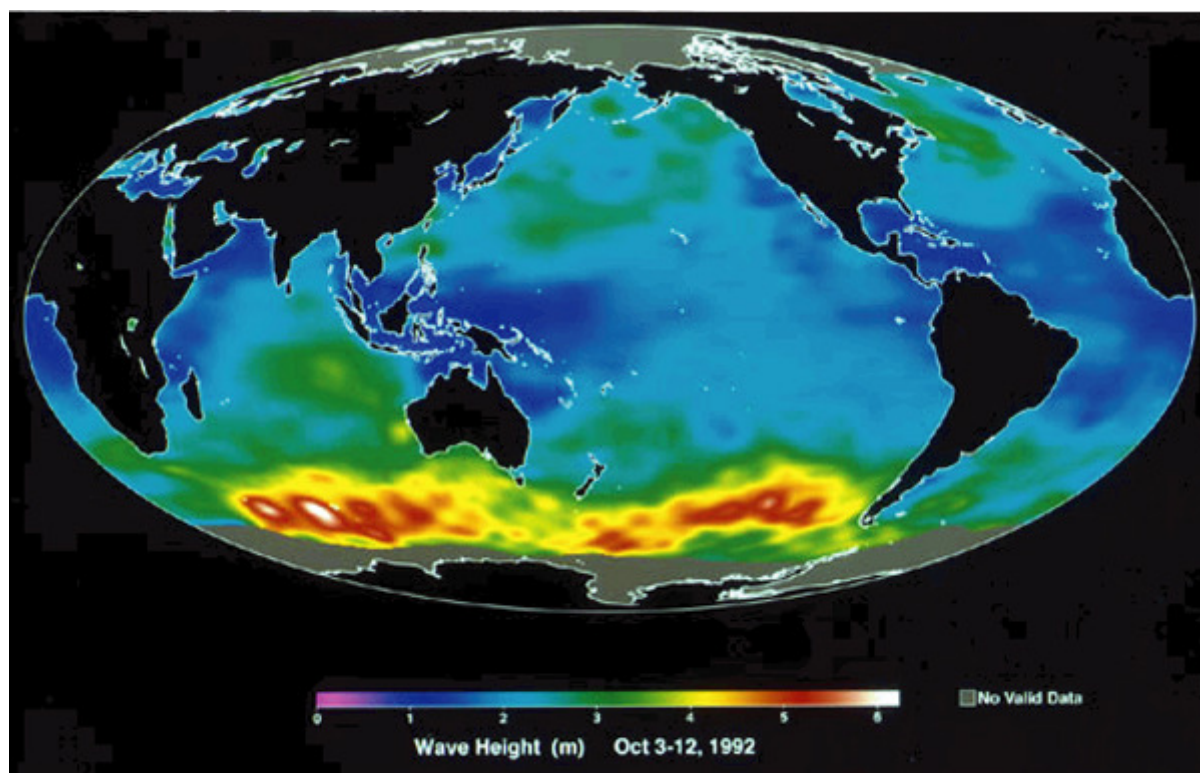


North Atlantic part of the Global Conveyor Belt.
(courtesy Woods Hole Oceanographic Institution)

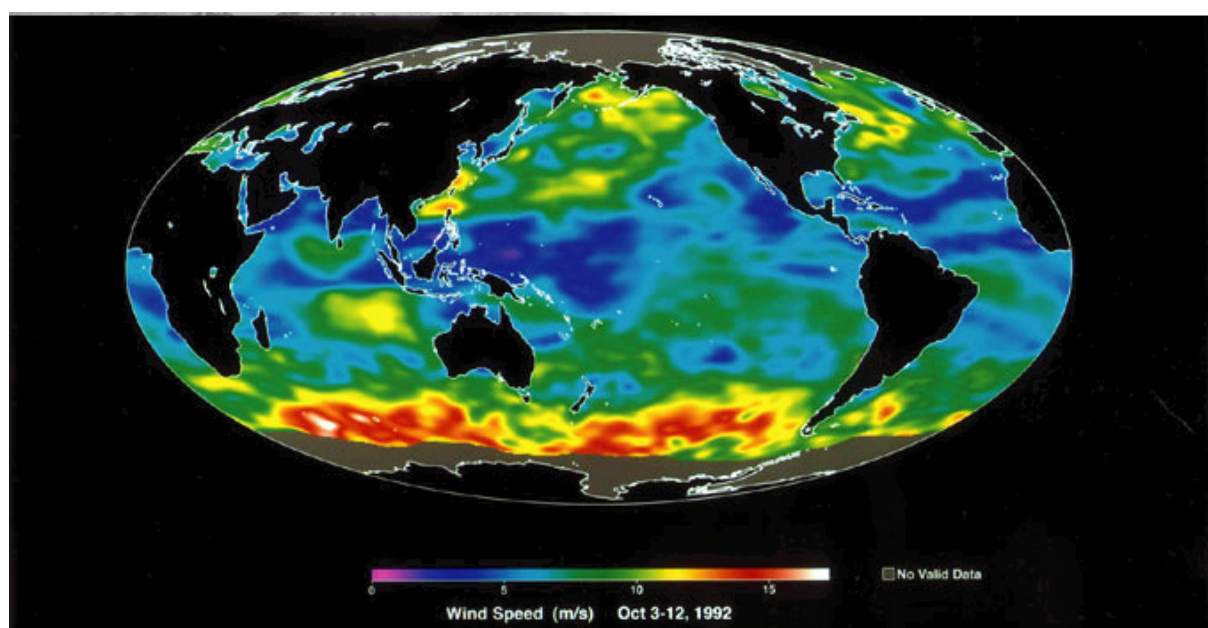


from [TOPEX/Poseidon Prime Mission Results Web page](#)

Répartition de la hauteur et de la vitesse des vagues



TOPEX/Poseidon Prime Mission Results



TOPEX/Poseidon Prime Mission Results

IV. Les installations

De très nombreux dispositifs ont été expérimentés avec deux grandes catégories : les dispositifs côtiers et les dispositifs de pleine mer (off-shore).

Les premiers utilisent le déferlement des vagues, les seconds utilisent les variations du niveau de la mer lors du passage de la houle. Les premiers sont faciles à construire et à entretenir mais leur rendement est nettement moins bon que les dispositifs off-shore qui exploitent des vagues plus puissantes et plus régulières.

Voici un tableau récapitulatif des principaux systèmes fonctionnant à l'heure actuelle. Il n'est cependant pas exhaustif, des systèmes encore au stade de recherche étant pour certains non publiés ou confidentiels.

	Pays	puissance	1 ^o mise en service	situation géographique
OWEC Ocean Wave Energy Converter™	U.S.A.			
Wavebob	Irlande			
Interproject Service	Suède	150/250 kW	1999	Gothenburg, Mer du nord, Suède
Archimedes Wave Swing (AWS)	Allemagne	2 MW	2001	Portugal
Le Pelamis	Ecosse	650 kW	2001	Ecosse
Le mighty Whale (Japon)	Japon	110 kW	1997	Baie de Gokasho, Japon
multiple oscillating water column, MOWC	Royaume Uni	1 MW	2005	Côte de Cornwall, Royaume Uni
Float Incorporated,	U.S.A.			
Bølgekraftwerk	Norvège	150 kW	2005	Norvège
Energetech	Australie			
Wavemill	Canada		2001	Cap Breton, Canada
Seapower	Ecosse		1999	Mu Ness, Shetland
Waveplane	Danemark		1997	Irlande
WaveDragon	Danemark	300 kW	2000	Danemark
Engineering business	Angleterre			
IT Power	Royaume Uni	300 kW	2003	Devon, Royaume Uni
Marine current technology	Royaume Uni	300 kW	2003	Devon, Royaume Uni
HAMMERFEST STRØM AS	Norvège			
Tidel	England			
Gulf Stream turbines	U.S.A.			
Blue Energy	Canada	5-250 kW	1983	Seaway of Cornwall, Ontario
Ponte di Archimede	Italie			
L'usine marémotrice de la Rance (France)	France	240 MW	1967	La Rance, France
Le projet LIMPET (Ecosse)	Ecosse	250 kW		Islay, Ecosse
....				

V. Conclusion

Le document le plus complet sur ce sujet est disponible au lien suivant :

[http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report\(11.1\).pdf](http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report(11.1).pdf)

Pour l'heure, je n'ai pas trouvé d'autre document parlant de l'énergie bleue dans sa totalité, quantifiant et comparant les rendements, les coûts, les perspectives de chaque type d'exploitation avec les divers autres types de production d'énergie.

Ces technologies étant pour la plupart encore au stade expérimental, les prix pour leur mise en service ne sont pas encore définitifs.

Leur compétitivité face aux autres énergies dépend d'une part du niveau d'étude et d'expérimentation mis en place pour sa réalisation mais aussi et surtout de leur lieu d'implantation.

Ces systèmes commencent à trouver des subventions et des applications du fait du besoin des pays producteurs d'énergie de réduire leur taux d'émission de CO₂.

Les pays côtiers nord Européens semblent être pour l'instant les principaux investisseurs dans ces technologies et lui réserve un bel avenir.

Malgré tout, la diversité des technologies et la disparité des côtes font que cette technologie a besoin de faire ses preuves afin de mieux cibler ses secteurs de compétence. A titre de comparaison, l'énergie éolienne est utilisée depuis l'antiquité alors que les premières utilisations des vagues comme source d'énergie date du XVIII^e siècle. Comme l'énergie éolienne a pu s'harmoniser et déboucher sur un type d'éolienne prépondérant, l'énergie bleue entre juste dans les années de sélection qui, on l'espère, débouchera sur des systèmes