



Contribution de Manoel DIALINAS

manoel.dialinas@laposte.net

POTENTIEL DES ENERGIES MARINES

La technologie des énergies marines est émergente avec environ 100 machines en développement dans 15 pays. En 2050, pour le Monde entier, les énergies marines pourraient représenter une puissance installée de 180-240 GW, l'équivalent de 112-150 réacteurs nucléaires EPR, pour une production de 645-823 TWh/an (non compris énergie osmotique). En terme d'emploi, l'enjeu est de 80 000 emplois à l'horizon 2020. Le document présente les différentes énergies marines identifiées à ce jour.

1- ENERGIES MARINES A PUISSANCE CONSTANTE OU MODULABLE PAR L'OPERATEUR

S'agissant pour la plupart de ces sources, d'activités émergentes, nécessitant jusqu'à deux décennies de mise au point, les acteurs politiques, économiques, sociaux devront faire preuve de vigilance, de volonté, d'imagination pour harmoniser mesures de recherche, de développement, et d'accompagnement.

En phase de Recherche et Développement, il y aura des coopérations et/ou des concurrences entre laboratoires publics et/ou privés, qu'ils soient intégrés à des groupes industriels ou qu'ils relèvent du domaine universitaire.

Dans leur phase industrielle, ces projets seront portés par de grandes entreprises spécialisées dans la production et la distribution d'énergie, parfois elles seront adossées à des groupes industriels et/ou financiers.

De nombreux établissements, y compris des PME de la Région, peuvent trouver naturellement leur place dans ces programmes.

1.1 *Énergie thermique des mers*

Phase R&D

L'énergie Thermique des Mers (ETM), ou Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC pour pays anglo-saxons), est une forme indirecte de l'énergie solaire, elle est donc infiniment renouvelable.

Le principe de fonctionnement a été formulé par le physicien français d'Arsonval en 1880. Dans la zone intertropicale, la température de l'eau de mer est proche de 4 °C à 1000 m de profondeur, alors

qu'en surface elle est supérieure à 25 °C. Cette différence de température peut être utilisée pour produire de l'énergie. La puissance produite est constante, c'est son principal atout.

Toutefois l'énergie thermique des mers est réservée aux régions tropicales et équatoriales.

Comme la différence de température est faible, les équipements seront de taille importante pour une puissance donnée (faible rendement thermique) avec par exemple des conduites d'eau de 10 à 15 m de diamètre et d'une longueur de 1000-1500 m, qui sont un des "points durs technologiques".

C'est l'industriel français Georges Claude (également fondateur de l'entreprise l'Air Liquide) qui réalisa la première application, avec une machine de 50 kW à Cuba en 1930.

L'Inde, le Japon, les USA ont réalisé des prototypes entre 1973 et 1985, abandonnés ensuite en raison de l'effondrement du prix du pétrole. Les prix du pétrole remontant, la filière est réactivée.

Il y a actuellement des projets pour l'Australie, Hawaï, la Martinique, La Réunion, Tahiti, Taiwan.

L'américain Lockheed Martin étudie une centrale de 10 MW à mettre en service en 2013 à Hawaï. OCEES International, Inc. travaille sur un projet de 13 MW pour une base navale américaine à Diego Garcia.

DCNS en France pilote trois projets de l'ordre de 10 MW, pour une commercialisation vers 2015, à la Réunion, en Polynésie et à la Martinique. DCNS (Indret et Brest) est plutôt ambitieux et compte tirer de ces énergies renouvelables 30 % de son chiffre d'affaires d'ici dix ans.

La technologie ETM, pour laquelle la France n'est pas en retard par rapport à d'autres pays, est encore au stade du développement et de l'expérimentation. Elle est freinée par les coûts : l'ETM a un faible rendement (en raison de la faible différence de température) alors qu'elle nécessite des investissements importants. Aujourd'hui, son développement est envisagé principalement pour de grandes unités installées en pleine mer, qui devraient être plus rentables que de petites unités à proximité de la côte. Le stockage sur place de l'électricité sous forme d'hydrogène permettrait à terme d'accroître l'intérêt pour cette technologie, qui deviendrait alors le premier maillon de la filière hydrogène.

Le déploiement industriel est envisagé à l'horizon 2030 avec 1200 MW à installer dans 17 zones prioritaires et un coût < 250 €/MWh.

Pour l'horizon 2030-2050, USA et Japon étudient l'extrapolation de la filière ETM à des usines flottantes géantes de plusieurs centaines de MW, opérant sur toute la ceinture équatoriale terrestre, pour la production en mer d'hydrogène (par électrolyse) et/ou de combustibles liquides synthétiques (ammoniac et méthanol) transportables par navires-citernes et répondant au besoin en énergie primaire des pays industrialisés éloignés des zones où la ressource ETM est disponible.

Pour la métropole nantaise, il y a une opportunité de nouvelles activités industrielles, mais pas avant 10-15 ans, et à condition que les choix techniques et commerciaux de DCNS soient pertinents.

100-200 emplois nouveaux à 10 ans, une quinzaine aujourd'hui. Il semblerait qu'il n'y a pas eu d'anticipation au niveau de la formation.

1.2 Énergie Osmotique

Phase R&D

Quand de l'eau douce rencontre de l'eau salée, il y a potentiellement une quantité importante d'énergie. Si les deux milieux sont séparés par une membrane semi-perméable (ou membrane osmotique) permettant le transfert d'un milieu à basse concentration en substances dissoutes (sel marin par exemple) vers un milieu plus concentré, il s'établit entre les deux faces de la membrane une pression équivalente à une colonne d'eau de 120 m qui peut être utilisée dans une turbine pour produire de l'électricité.

Les centrales osmotiques peuvent être construites à chaque embouchure de fleuve (la Loire ?), de rivière, là où l'eau douce rencontre l'eau salée, à condition toutefois que la concentration en sels soit suffisamment élevée. Fjords et abers sont d'autres sites utilisables.

Le potentiel mondial ultime est évalué à 1600-1700 TWh, soit environ la moitié de la production européenne d'électricité actuelle.

Comme pour l'énergie thermique des mers, la puissance est constante, 24h/24, 365j/an. Elle a l'avantage de ne pas être limitée aux zones intertropicales comme l'ETM, mais d'être applicable sur n'importe quelle côte dans le Monde.

Le "point dur" technique est constitué par les membranes osmotiques, dont il faut améliorer les performances, empêcher qu'elles s'obstruent, et diminuer le coût de production.

La société norvégienne Statkraft travaille depuis 1997 sur cette filière. Elle a mis en service en 2009, près d'Oslo, un prototype dimensionné pour 10 kW avec 2000 m² de membranes osmotiques, mais qui, pour le moment, est limité à 4 kW. L'étape suivante pourrait être des systèmes de 1 MW environ vers 2015, si les verrous technologiques sont levés.

Apparemment, il n'y a actuellement pas de R&D en France et sur le territoire nantais sur cette filière.

2- ENERGIES MARINES À PUISSANCE PREDICTIBLE

Pour un fournisseur/producteur d'électricité, ce sont des énergies un peu plus difficiles à gérer que les précédentes, car il y a une certaine intermittence, heureusement tout à fait prédictible.

2.1 Énergie marémotrice

Phase : industrialisation

L'énergie marémotrice est issue des mouvements de l'eau créés par les marées, causés par les forces de gravitation de la Lune et du Soleil. Elle est utilisée soit sous forme d'énergie potentielle - l'élévation du niveau de la mer (usine La Rance), soit sous forme d'énergie cinétique - les courants de marée (hydroliennes bidirectionnelles). C'est une énergie dont on peut connaître à l'avance la puissance qu'elle fournira à un moment donné.

L'énergie marémotrice n'est pas nouvelle : des moulins à marée ont été construits dès le XIII^e siècle. La première centrale électrique utilisant l'énergie marémotrice est la centrale de la Rance en France, d'une puissance de 240 MW, elle est fiable, et son coût de production est faible. Elle a été installée sur un site qui, avec des marées dont l'amplitude atteint 13 à 14 mètres, avait déjà connu dans l'histoire de nombreux moulins à marée. L'inconvénient majeur de cette filière est un impact significatif sur l'environnement, et cela limite les sites utilisables. Ce serait le cas, si la France voulait réaliser des centrales marémotrices de puissance comparable ou supérieure à la Rance.

Le Canada a construit une usine marémotrice de 20 MW, a plusieurs prototypes en cours de développement, et a mis en place un atlas des ressources : 190 sites identifiés, pour un potentiel de 42000 MW, soit près des 2/3 de la demande canadienne d'électricité en 2008. Trois centrales marémotrices, utilisant les courants de marée (donc ne nécessitant pas de barrage, et à impact limité sur l'environnement) avec des machines de type hydroliennes, pourraient être prochainement construites dans la baie de Fundy, sur la côte ouest de l'Île de Vancouver et dans l'estuaire du Saint-Laurent. Projets similaires, utilisant les courantes de marée, en Inde (50 MW) et Corée (90 MW).

La Corée du Sud a mis en service en 2011 la centrale marémotrice de Sihwa Lake de 254 MW, et a un projet de 1320 MW à Incheon pour 2017.

Actuellement, ni la France, ni le territoire nantais, ne sont présents dans cette filière.

2.2 Hydroliennes

Phase R&D

Elles fonctionnent avec des courants marins supérieurs à 2 m/s. Ces courants marins puissants sont liés aux marées, on peut dire que c'est une forme d'énergie marémotrice, donc on peut connaître à l'avance la puissance qu'elle fournira à un moment donné.

Le potentiel de production électrique des courants marins est environ 30 TWh/an pour l'Europe (essentiellement Grande Bretagne et France), environ 12 TWh/an en France avec 4 GW de puissance installée (équivalent 2 réacteurs EPR). Pour le Monde, la puissance potentielle serait de 80 GW.

La puissance obtenue augmente avec la vitesse du courant, elle est de l'ordre de 1.2 kW/m² pour un courant de 2 m/s et 4 kW/m² pour un courant de 3 m/s.

En France, la Bretagne et la Normandie ont plusieurs sites où les courants sont forts : Raz Blanchard (5 m/s) avec un potentiel de 1 000 machines, Fromveur (4 m/s), Chaussée de Sein (3 m/s), Héaux de Bréhat, Cap Fréhel (2 m/s).

Autres sites possibles en France : goulet de la rade de Brest, goulet du golfe du Morbihan, passes entre îles et continent (Groix, Belle Ile, Noirmoutier, Yeu, Ré, Oléron), embouchures de fleuves et d'abers, goulet du bassin d'Arcachon. Les courants de passe existent aussi dans certains atolls tropicaux.

Les hydroliennes ressemblent aux éoliennes, mais elles fonctionnent sous l'eau. Elles sont plus petites que les éoliennes pour une même puissance, cela est dû à la masse volumique de l'eau qui est environ 800 fois supérieure à celle de l'air.

La Norvège a exploité la première des hydroliennes en 2003, et met en œuvre aujourd'hui des machines de puissance unitaire de 1.5 MW, puis la Grande Bretagne à partir de 2006 et qui en 2011 met en œuvre des hydroliennes de puissance unitaire de 1 MW et a des projets de parcs hydroliens de 100 à 400 machines. La société britannique Marine Current Turbines produit les hydroliennes SeaGen d'une puissance unitaire de 1.2 MW, avec des fermes de 10 et 100 MW en projet. La Norvège et la Grande Bretagne sont les leaders mondiaux pour cette technologie.

La France a réalisé un premier prototype de 0.04 MW en 2008, et installé en 2011 le parc pré-industriel hydrolien d'EDF-EN de Paimpol Bréhat, avec une première machine de 0,5 MW (design OpenHydro, diamètre 16 m), et trois autres machines en 2012. Le groupe Alstom développe des hydroliennes avec une ambition mondiale. D'autres entreprises françaises, Hydrohelix Énergies et Sarl Aquaphile, s'intéressent à l'énergie hydrolienne.

Les USA ont un projet d'un parc de 1500 MW, dans le Gulf Stream, au large des côtes de Floride.

On peut envisager des hydroliennes fonctionnant avec des courants fluviaux quand ils sont supérieurs à 2 m/s, par exemple entre 2 piles rapprochées d'un pont, ou sur des torrents. Dans ce cas, c'est une forme d'hydroélectricité sans barrages. La société allemande Smart Hydro Power produit des micro turbines de 5 kW à placer "au fil de l'eau" sur les petits cours d'eau.

Pour cette filière, la France a un retard par rapport à la Norvège et la Grande Bretagne. Toutefois si les acteurs locaux (DCNS) ont un comportement ambitieux et dynamique, il est possible de "revenir dans le jeu" et espérer des retombées industrielles. Mais l'industrialisation se fera à Cherbourg. Avec quelques sites potentiels à une centaine de km de Nantes, cette filière peut aussi contribuer à sécuriser la production électrique pour la métropole nantaise.

3- ENERGIES MARINES À PUISSANCE INTERMITTENTE ET ALEATOIRE

Pour un fournisseur/producteur d'électricité, ce sont les plus difficiles à intégrer dans un réseau électrique en raison de leur intermittence aléatoire : que produiront-elles au moment de la pointe de consommation du jour le plus froid ?

3.1 Éolien offshore

Phase : industrialisation

Ce n'est pas à proprement parler une énergie marine, car ce n'est pas l'eau qui fait tourner les pales des éoliennes. C'est de l'éolien en mer, là où les vents sont plus puissants et plus réguliers que sur terre, le taux de disponibilité passant de 25-30 % à 40-45 %. Cette meilleure disponibilité atténue l'aspect intermittent de l'énergie éolienne, et permet de l'intégrer plus facilement dans un réseau électrique. De plus les éoliennes offshore apportent peu de nuisances.

Le potentiel de l'éolien offshore serait de l'ordre de 15000 MW pour la France (équivalent 9 EPR).

En 2012, les éoliennes offshore ont des puissances unitaires de 5 à 7 MW, et des parcs offshore de 150 - 300 MW sont en projet. Cette filière énergétique est en phase d'industrialisation, avec un coût du kWh produit relativement comparable à celui des modes classiques de production d'électricité : thermique charbon, nucléaire, hydroélectricité, combiné gaz.

La filière éolien offshore comporte 2 variantes, l'une avec plateforme sur pieds dont l'utilisation est limitée aux faibles profondeurs, mais facilement industrialisable avec les techniques de l'offshore pétrolier.

L'autre variante utilise une plateforme flottante que l'on pourra installer là où existent de grandes profondeurs (Méditerranée par exemple), et là les surfaces exploitables ne sont pas limitées. Cette dernière variante est encore en étude. Comme pour l'ETM, on peut envisager des parcs éoliens offshore géants, loin des côtes, avec production et stockage d'hydrogène. Cela supprimerait le caractère aléatoire de l'énergie éolienne. Le marché de l'éolien flottant serait le triple de celui de l'éolien posé.

En 2012, pour cette filière énergétique, il y a un retard français de plus de 10 ans, tant pour la maîtrise de la technologie que pour l'installation et la production éolienne offshore : le Danemark a mis en service son premier parc offshore en 1991, au 1er janvier 2012 la France n'a encore aucun parc offshore en service. La production d'éoliennes offshore est actuellement dominée par l'Allemagne et le Danemark.

Si la France a un retard certain dans cette technologie, le développement important de celle-ci dans le Monde permet d'espérer au moins "des miettes".

Le territoire nantais est concerné par l'éolien offshore dans le secteur de la métallurgie, avec l'implication de STX, Alstom, Defontaine, mais cela présuppose que le consortium dans lequel est Alstom remporte au moins 2 des champs off-shore (pour un minimum de 1200 MW installés) faisant l'objet d'un appel d'offres.

Le territoire nantais est aussi concerné par la possibilité de sécuriser la ressource énergétique métropolitaine avec au moins 2 parcs offshore potentiels à 100 km environ de Nantes.

La Bretagne est présente sur la filière plate-forme flottante (projet WINFLO) avec DCNS et le pôle mer Bretagne.

3.2 *Énergie de la houle, ou énergie houlomotrice*

Phase R&D

L'énergie de la houle est une forme indirecte de l'énergie éolienne, puisque sans vent il n'y aurait pas de houle. La puissance produite est aléatoire, et ne peut pas être connue à l'avance. Le potentiel mondial de production électrique est évalué à 1400 TWh/an pour l'Europe, dont 37 TWh/an pour la France (potentiel puissance 15000 MW soit 9 réacteurs EPR).

L'impact environnemental est sensiblement plus réduit que l'éolien offshore, les installations houlomotrices étant presque invisibles en surface.

La première machine transformant l'énergie mécanique de la houle en électricité a démarré en Espagne en 2004, et depuis 10 ans la commission européenne a contribué au développement de cette filière.

Il existe de multiples formes d'utilisation de l'énergie de la houle. La diversité des systèmes proposés indique que la technologie est émergente et qu'un effort de R&D est encore nécessaire pour que ces technologies soient matures. L'un d'entre eux, le SeaRev, est en développement à l'École Centrale de Nantes, et il est prévu de mettre un prototype en test au large du Croisic pour 2014. Un autre prototype est en expérimentation au large du nord du Portugal avec des machines ressemblant à des serpents de mer (design Pelamis Wave Power de la société Ecossaise Ocean Power Delivery, puissance unitaire 750 kW). Pour ce modèle, qui apparaît comme le plus abouti aujourd'hui, il existe des projets de fermes de 10 MW (2015) et 50 MW en Grande Bretagne avec des puissances unitaires de 2.5 MW. Les USA ont plusieurs prototypes en test

Cette filière ne sera pas industrialisée avant 5-10 ans. Si cela est le cas, il faut espérer que les choix techniques et commerciaux des acteurs locaux aient été les bons. Au niveau de la production d'électricité, compte tenu de la position géographique de Nantes près des cotes, l'énergie houlomotrice peut contribuer au "mix énergétique" nantais.

3.3 *Énergie des vagues*

Phase R&D

L'énergie des vagues est une forme indirecte de l'énergie éolienne. Les systèmes sont des dispositifs côtiers utilisant le déferlement des vagues. La puissance produite est intermittente et aléatoire, et ne peut donc pas être connue à l'avance.

Quatre machines fonctionnent avec l'énergie des vagues aux Açores (0.4 MW), en Ecosse (0.5 MW), au Japon (0.12 MW), au Portugal (machine AWS en 2004). Il existe un projet pour la Polynésie française. Projets de l'entreprise écossaise AWS de machines de 2.5 MW pour 2014, de 10 MW pour 2016.

Parmi les techniques proposées on notera :

- des colonnes oscillantes : en fin de course, les vagues entrent dans un caisson où elles compriment l'air emprisonné. Cet air comprimé fait tourner une turbine.
- des débordements de chenal : les vagues s'engouffrent dans un chenal qui se rétrécit. Elles enflent et débordent par-dessus la digue d'un réservoir qui se remplit peu à peu. L'eau du réservoir revient à la mer en passant par une turbine qu'elle fait tourner.

Comme pour l'énergie houlomotrice, la diversité des systèmes proposés montre que la technologie n'est pas mature, et que de la R&D est encore nécessaire pour atteindre le stade industriel.

Cette filière, semble avoir un potentiel inférieur à la filière houlomotrice, car elle n'est applicable que le long de certaines cotes, alors que l'énergie houlomotrice peut être exploitée en tout point des océans. D'autre part aucun des systèmes en développement n'est arrivé à un stade préindustriel.

DCNS est présent sur 2 concepts : CETO et Wave Roller. Le coût visé serait 150-200 €/MWh

4- MICRO-ALGUES

Phase R&D

Ce n'est pas une énergie marine, mais plutôt une ressource énergétique issue de la mer.

Les micro-algues ne produisent pas d'électricité, mais poussent par photosynthèse en transformant l'énergie solaire en énergie chimique, et pourrait théoriquement produire 25000 litres de biodiesel (ou de bio-kérosène pour les avions) par hectare et par an, sans consommer d'engrais et de pesticides, en recyclant le CO₂, en traitant des eaux usées, et sans concurrence avec la ressource alimentaire. Le rendement est très supérieur à celui des plantes terrestres actuellement utilisées ou envisagées pour produire des agro-carburants. Les micro-algues ne seraient pas exploitées en mer, mais à proximité immédiate des côtes, car elles vivent dans l'eau salée.

Le laboratoire Physiologie et Biotechnologie des Algues du centre IFREMER de Nantes est associé au projet national SHAMASH, financé par l'ANR, qui a pour objectif de produire un biocarburant à partir de micro-algues.

Les principales compagnies aériennes suivent de très près le développement de cette filière, qui pourrait être une alternative aux carburants pétroliers lorsque le prix du pétrole atteindra des valeurs "non économiques". L'armée américaine suit aussi de très près cette filière.

Potentiellement il y a un secteur industriel en devenir centré sur les biotechnologies et la chimie, et la France n'est pas en retard dans cette filière, pour le moment. Mais, il pourrait y avoir des conflits sur l'occupation des espaces à proximité immédiate des côtes : combien d'hectares faudrait-il occuper, c'est-à-dire "neutraliser" pour d'autres activités, pour subvenir à nos besoins en bio-diesel ou en bio-kérosène ? Et au détriment de qui ?

5- POUR EN SAVOIR PLUS...

Énergies Marines Renouvelables

Sous la direction de Bernard Multon, éditions Hermès-Lavoisier, 384 p., 130 €, www.lavoisier.fr