

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

Diapo 3

30 000 GTep à partir du seul rayonnement solaire sur leur surface

= 65 000 TW

= 570 quadrillion kWh/an

= 5000 fois l'énergie finale dépensée par l'humanité.

2.5 km² d'océan (1 mille carré) absorbe l'énergie solaire de 500 MW ou de 2.6 millions de barils de pétrole

Diapo 7

Au départ terminal méthanier refusé par la municipalité.

Au fil des échanges avec les scientifiques et les industriels et en participant aux différents ateliers, le maire a compris que sa commune avait un intérêt à s'engager dans cette voie. «Par rapport au Royaume-Uni et au Portugal, la France a pris du retard dans le développement des énergies marines qui correspondent à un réel besoin. Avec une digue de 3 km qui s'enfonce au large à la rencontre des courants de la Manche parmi les plus puissants d'Europe, ce site se prête parfaitement à des expérimentations sans consentir de gros investissements. »

François Auber, le maire, a donc profité du Grenelle pour partager son idée. Maintenant, la commune attend que des industriels et des chercheurs, dans une région où le savoir-faire existe, s'associent à ce projet fédérateur. Comme le dit le maire : « Il y a ici la possibilité de développer la recherche. Nous irons défendre notre projet au ministère. Antifer doit devenir un lieu de passation douce entre les énergies fossiles et les énergies renouvelables. »

Diapo 8

Effectivement rarement un site comme celui d'Antifer n'aura réuni autant de conditions pour y créer un pôle de développement des énergies marines. Construit de la main de l'homme pour y accueillir à l'époque des pétroliers géants de plus de 500 000 tonnes, c'est une formidable station avancée en haute-mer qui présente l'énorme avantage d'être reliée à la terre. Antifer dispose d'une surface de 6 km² par 30 à 40 mètres de fond et sa digue longue de 3 km s'avance au large, à la rencontre des courants de la Manche, les plus puissants d'Europe. Cette imposante infrastructure que nul n'aurait aujourd'hui les moyens de construire est aujourd'hui disponible alors que le trafic pétrolier y est en nette régression. Plutôt que regretter le passé et se perdre en conjectures sur la nécessité de cet investissement, profitons du fait qu'Antifer offre maintenant une extraordinaire opportunité de construire un avenir de haute technologie basé sur le développement des énergies marines. Tout est prêt pour y accueillir des plates-formes d'essais et y développer un site d'expérimentation de grande envergure, sans pour autant perturber l'activité résiduelle du trafic pétrolier. A Antifer, le passage de témoin entre l'exploitation des énergies fossiles et les énergies marines se fera en douceur. Un exemple à suivre. Le temps est compté et il faut agir vite pour que la France occupe le rang qu'elle mérite. Il faut savoir que des pays comme la Grande-Bretagne, la Norvège, l'Espagne et le Portugal ont pris de l'avance en menant de nombreux projets «énergie marine» soutenus financièrement par l'Union européenne.

LE SITE D'ANTIFER EST UN FORMIDABLE CHAMP D'EXPÉRIMENTATION ET DE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES MARINES

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon

AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

Diapo 12

L'ordre de grandeur de l'énergie naturellement dissipée annuellement par les marées est évalué à 22 000 TWh soit l'équivalent de la combustion de moins de 2 Gtep. Ce chiffre est à comparer à la consommation d'énergie de l'humanité en 2050, de l'ordre de 16,5 Gtep.

Seule une fraction est récupérable, l'énergie marémotrice ne pourra contribuer que pour une faible part à la satisfaction des besoins.

Par rapport à la plupart des autres énergies naturelles, l'énergie marémotrice présente l'avantage d'être parfaitement prédictible :

Dépend en un point donné de la position des astres ;

Propagation de l'onde de marée pas instantanée : ceci contribue globalement à "étaler" la production, et à effacer les passages à zéro périodiques de la production en un point.

Diapo 13

L'usine de Sihwa Lake, en Corée, ouverte le 4/8/11, est plus puissante que La Rance.

Au Canada, une vingtaine de sites ouverts en 2011 (190 identifiés pour une puissance potentielle de 42 GW/an), dont baie de Fundy (grandes marées jusqu'à 21 m), côte ouest de l'île de Vancouver, et estuaire du Saint-Laurent.

Nouvelles technologies :

- ⇒ Hammerfest Strom, Nord de la Norvège (Hammerfest serait la ville la plus septentrionale du monde), usine marémotrice sous-marine, en fait parc d'hydroliennes de 32 GWh
- ⇒ Îles Shetland, même principe que La Rance, pour 1580 kW, coût estimé plus cher que l'éolienne.
- ⇒ l'ambitieux projet d'une usine marémotrice géante sur la Severn, au Pays de Galles, qui serait dotée de 216 turbines de 40 MW chacune avec 8,6 GW de puissance installée et 2GW en moyenne, production annuelle de 17 TWh. L'impact environnemental fait hésiter nos amis Britanniques.

Diapo 17

Situé dans l'estuaire de La Rance, aux portes de Saint-Malo, le barrage a été créé en 1966, pour exploiter un marnage de marée de 13 à 14 m, et développe une puissance de 240 MW, 540 GWh, ce qui équivaut aux besoins de Rennes

Il fournit 3% de l'électricité consommée par les Bretons (qui est essentiellement nucléaire), mais 60% de l'électricité produite par La Bretagne (90% selon EDF)

Le barrage est responsable de l'envasement progressif de l'estuaire, soit une perte annuelle de 1% de rendement.

La plie et le lançon ont disparu, d'autres espèces apparaissent : dorade, mulets, raies, lieus, ...

C'est enfin un site touristique.

Diapo 20

Cette carte mondiale des courants marins vous montre les différents courants exploitables, et en particulier le Gulf Stream, nous y reviendrons.

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

Diapo 23

L'eau de mer ne gèle pas, et ces hydroliennes sont donc sous la glace de surface lorsque la banquise est présente.

Diapo 24

Les hydroliennes sont beaucoup plus petites que les éoliennes pour une même puissance, cela étant dû à la masse volumique de l'eau qui est environ 800 fois supérieure à celle de l'air. Les courants marins sont prévisibles (notamment en consultant les éphémérides), on peut donc estimer avec précision la production d'électricité.

Les potentiels des courants marins sont très importants, EDF estime que 5 GW (soit environ 3 réacteurs nucléaires de type EPR) peuvent être installés à proximité des côtes françaises, de la Bretagne au Cotentin.

L'hydrolienne utilise une énergie renouvelable (le courant marin) et elle ne pollue pas, en termes de déchets issus de combustion tels que CO₂ ou de déchets radioactifs.

De nouveaux modèles d'hydroliennes semi-immergés peuvent être adaptés aux rivières, même modestes, sans avoir les impacts écologiques des turbines classiques dont les pêcheurs craignent qu'elles aient des impacts sous-estimés sur les poissons. Ces hydroliennes produisent moins d'électricité que les turbines classiques, mais pourraient être beaucoup plus légères, et demander bien moins d'investissement.

Diapo 25

Les hydroliennes créent des zones de turbulences, qui modifient la sédimentation et le courant, avec de possibles effets sur la flore et la faune juste en aval de leur positionnement. Ces aspects sont analysés par les études d'impacts.

Des poissons ou mammifères marins pourraient heurter les hélices. Ces dernières peuvent néanmoins tourner très lentement (cela dépend de la résistance opposée par l'alternateur et donc du modèle d'hydrolienne). Toutefois, la première étude sur le sujet menée en 2009, par Hydro Green Energy LLC et déposée à la Federal Energy Regulatory Commission (USA), a démontré clairement la sécurité du procédé. Selon ces résultats, seulement un poisson sur 402 aurait montré des signes de blessure; des signes peut-être plus attribuables à la mise en place du protocole qu'aux turbines elles-mêmes. Cette étude s'applique toutefois aux poissons et non aux plus gros mammifères marins.

Dans les eaux turbides, du fait de la présence de sable en suspension (Pas de Calais par exemple), l'érosion des pales d'hélice ou des pièces mobiles par le sable est très forte. Aussi l'entretien doit être très fréquent, mais il est plus difficile qu'à l'air libre puisqu'on ne peut pas l'ouvrir sans que l'eau ne pénètre à l'intérieur et n'endommage tous les systèmes (mécanique et électrique). Pour cette raison, certaines hydroliennes ont une structure émergeant de l'eau, qui peut être gênante pour la navigation. Des systèmes à ballast pourraient permettre de faire monter ou descendre les unités de production.

Pour éviter le développement des algues et organismes encroûtants sur l'hydrolienne, il faut utiliser un antifouling. Cet antifouling doit être refait régulièrement, ce qui induit un coût d'entretien important (intervention en mer, ...). De plus il s'agit, par définition, de produits toxiques pour la faune et la flore marine.

Les hydroliennes coûtent donc très cher à l'entretien et à l'installation.

Diapo 27

Le potentiel européen de l'énergie hydrolienne est, selon plusieurs études menées il y a quelques années axées sur ce projet d'envergure mondiale, à environ 12,5 GW qui pourraient produire 48 TWh annuels, ce qui représente la capacité de trois centrales électriques récentes de type EPR.

D'après EDF, la France posséderait la deuxième ressource européenne, soit 20 % du potentiel européen, correspondant à 10 TWh pour 3 GW « installables », répartis entre la Bretagne et le Cotentin. C'est d'ailleurs là qu'est installée en septembre 2011 la première hydrolienne industrielle française, près de l'île de Bréhat.

Les courants marins pourraient être exploitables partout dans le monde ; les courants de marée constituent toutefois pour l'instant le domaine préférentiel de ce type de technologie : les courants de marée présentent en effet, par rapport aux courants généraux (comme le Gulf Stream), des caractéristiques particulièrement favorables :

- intensité importante (dans certaines zones les courants de marée peuvent atteindre ou dépasser 10 nœuds, soit 5 m/s, alors que les courants généraux dépassent rarement 2 nœuds) ;
- proximité de la côte : les veines de courant intense apparaissent dans des zones de faibles profondeurs situées à proximité de la côte, ce qui en facilite l'exploitation ;
- direction stable : les courants de marée sont généralement alternatifs, ce qui simplifie le dispositif de captage ;
- enfin, prédictibilité : les courants de marée sont parfaitement prévisibles, puisqu'ils ne dépendent que de la position relative des astres - Lune et Soleil - et de la topographie locale.

Diapo 29

La technologie des hydroliennes en est à un stade expérimental.

Le coût élevé de l'investissement d'une centrale hydrolienne et le faible tarif d'achat de l'électricité produite peuvent pour l'instant faire reculer les investisseurs.

Les projets les plus avancés sont anglais.

La compagnie londonienne TidalStream a mis au point en 2006-2007 un système d'hydrolienne adapté aux eaux profondes et aux courants marins rapides, pour la production d'électricité. Le système sera compétitif avec les éoliennes on shore et off shore.

En France le projet HARVEST (Hydrolienne à Axe de Rotation Vertical STabilisé) est le développement d'un nouveau concept d'hydrolienne pour la récupération de l'énergie des courants marins et fluviaux. Le projet entre dans une seconde phase, où il s'agit d'implanter une première tour à Pont de Claix (Isère) dans un canal EDF pour la fin 2008 ; les turbines sont alors à l'échelle 1/2. L'ultime étape consistera à mettre en commun plusieurs tours pour former un parc, avec objectif de tester une telle « ferme fluviale » en 2010.

En France toujours, le projet industriel Marenergie rassemble des acteurs bretons et une machine de démonstration de 10 kW Hydrohelix-Projet Sabella a été immergée à Benodet dans l'estuaire de l'Odette en avril 2008. La différence principale entre ces deux projets réside dans le fait que l'un est porté par des laboratoires universitaires reconnus dans ce domaine et l'autre par une PME.

Un autre démonstrateur de 10 kW, Hydro-gen 10, développé par une PME, est produit et testé en Bretagne. Cette hydrolienne a pour caractéristique d'être flottante et d'utiliser une turbine

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon

AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

amovible, coulissante ou basculante, afin de faciliter entretien, nettoyage et réparation. C'est la première hydrolienne à avoir produit du courant électrique en France en 2006.

La première hydrolienne du parc EDF de Paimpol-Bréhat, baptisée "l'Arcouest", est entrée en phase de test au large de l'île de Bréhat, depuis le 22 octobre 2011. L'engin, de 16m de diamètre et de 850 tonnes, est placé pour quelques mois à 35 m de profondeur afin de tester en conditions réelles ses performances et vérifier sa bonne tenue aux conditions marines. C'est la première étape d'un projet de parc hydrolien EDF qui devrait regrouper 4 turbines d'une puissance unitaire de 1 MW pic pouvant alimenter environ 3000 logements en électricité.

Autres projets :

Québec, deux turbines de 250 kW chacune;

Ecosse, un rotor de 21 m de diamètre devrait produire 1 MW;

On a déjà évoqué le projet Hammerfest Strøm en Norvège.

Diapo 31

Il faut savoir qu'un énorme potentiel existe dans le détroit de Floride où naît le Gulf Stream, entre la pointe sud de la Floride et les côtes cubaines.

Avantages : peu de profondeur, proximité des côtes, puissance du courant, largeur exploitable.

Voir

http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=florida%20hydro&source=web&cd=10&ved=0CHYQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fchippewa.gtsav.gatech.edu%2Foutreach%2Fworkshop%2Fpresentations%2Fmhooover.pdf&ei=GZAeT--yO9LL8QORwY2_Dg&usg=AFQjCNEV1WxeSIsYzxOU981QCqRJJ5fcuA&cad=rja

Diapo32

Remarquez la taille de la section de l'hydrolienne en comparaison avec la bouée au premier plan.

Diapo 35

des colonnes d'eau oscillantes côtières qui recueillent les vagues en fin de course. L'eau entre dans un caisson où elle comprime de l'air aspiré quand la mer se retire. Cet air comprimé fait alors tourner une turbine qui entraîne un générateur électrique ;

des colonnes d'eau oscillantes immergées, des bouées sous-marines en mouvement qui montent, descendent et tanguent au gré des vagues. Ancrées dans les fonds marins, leur mouvement actionne un piston, aspire de l'eau de mer dans une turbine ou comprime de l'air ou de l'huile qui va faire tourner un moteur et entraîner un générateur d'électricité ;

des débordements de chenal : les vagues s'engouffrent dans un chenal qui se rétrécit de plus en plus. 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. Le réservoir peut se trouver sur la côte ou plus loin, sur une plateforme à déferlement flottante ;

des caissons flottants reliés entre eux par des charnières articulées. Les vagues déplacent les caissons selon leurs mouvements. L'énergie est récupérée au niveau des articulations

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

mobiles entre chaque caisson grâce à des pistons actionnant des pompes à huile sous pression.

Diapo 36

en 1999, l'Écosse a lancé Pélamis4-5-6, un "serpent des mers" composé de quatre cylindres flottants de 3,5 mètres de diamètre reliés par des charnières articulées sur une longueur totale de 150 mètres. Chaque articulation dispose d'une pompe hydraulique. Le mouvement des vagues permet de pomper de l'huile pressurisée et de la diriger vers un moteur qui entraîne un générateur. Le projet initial prévoyait l'installation de 30 à 40 Pélamis répartis sur un kilomètre carré d'océan et doit alimenter 20 000 foyers en électricité ;

en Écosse toujours, le projet Limpet7 est testé depuis 2000 sur l'île d'Islay. Il recourt à la technologie des colonnes d'eau oscillantes côtières pour une puissance de 500 kW ;

au pays de Galles, un prototype Wave Dragon 8 est lancé en 2007. Il utilise la technologie de plateforme à déferlement pour une capacité de 7 MW. Les vagues franchissent un plan incliné montant et remplissent un réservoir qui se vide ensuite en actionnant une turbine. Un dispositif d'amarrage permet à l'appareil de s'orienter perpendiculairement à la direction des vagues. Ce dragon des mers atteint plus de 200 mètres d'envergure pour un poids d'environ 30 000 tonnes. Des tests de longue durée sont nécessaires pour assurer l'amarrage du dispositif ;

d'autres projets à colonnes d'eau oscillantes ou bouées oscillantes sont développés au Portugal, en Espagne, en Bretagne et en Angleterre.

Diapo 37

L'exploitation du mouvement des vagues pour actionner un générateur d'électricité est séduisante, et les projets abondent, mais nombreux sont ceux qui resteront sur la grève. L'énergie des vagues peut en effet être captée selon différents procédés.

Des systèmes à oscillation, équipés de vérins pneumatiques ou hydrauliques, intégrés dans des bouées, sont mis en mouvement par la houle et transmettent leur énergie à un générateur. D'autres systèmes à vérins, installés sur des digues artificielles, sont mus par le ressac.

Ou encore, des capteurs de houle, immergés sous le fond sous-marin, envoient par une canalisation de l'eau comprimée vers des turbines à terre et actionnent celles-ci.

Tous ces concepts sont en cours de développement, mais aucun n'a véritablement fait ses preuves. Des progrès restent donc encore à faire pour que cette source d'énergie ne devienne pas un « serpent de mer », à l'image du projet Pelamis (serpent en grec), première centrale houlomotrice au monde inaugurée sur la côte portugaise en novembre 2008, mais qui a dû être démontée au printemps 2009 en raison de problèmes techniques récurrents.

Diapo 38

En France, le projet Searev9-10-11-12 a été lancé en 2003 à l'École centrale de Nantes. Il s'agit d'un système offshore de deuxième génération composé d'un flotteur clos et étanche dans lequel est suspendue une roue jouant le rôle d'un pendule. Cette roue, de 9 mètres de diamètre, est lestée de béton dans sa moitié inférieure. Sous l'action des vagues, le flotteur se met à osciller et entraîne le va-et-vient de la roue. Le mouvement relatif entre le flotteur et la

roue actionne un système hydroélectrique de conversion de l'énergie mécanique en électricité : des pompes hydrauliques liées à la roue pendulaire chargent des accumulateurs à haute pression.

En se déchargeant, ces derniers livrent leur énergie à des moteurs hydrauliques qui entraînent des générateurs d'électricité. L'électricité est ramenée à terre par un câble sous-marin. D'une longueur de 24 mètres et d'un poids de 1 000 tonnes, une unité Searev aura une puissance de 500 kW. À terme, une ferme houlomotrice serait constituée de plusieurs dizaines de modules ancrés par 30 à 50 mètres de fond, à 5 ou 10 km des côtes.

Diapo 39

On prévoit une ferme de 100 MW à terme en Californie du Nord (AquaBuoy)

Diapo 42

Machine Pelamis (serpent de mer)

Composée de sections qui se courbent et fléchissent lorsque les vagues se déplacent le long de la structure.

Ce mouvement permet de pomper de l'huile à haute pression à travers des moteurs hydrauliques qui entraînent à leur tour des génératrices électriques.

Les trois machines qui composent la ferme d'Aguçadoura ont chacune une puissance installée de 750 kW, soit une puissance maximale totale de 2,25 MW, assez pour répondre à la demande d'électricité de plus de 1500 foyers portugais.

La production moyenne d'une machine Pelamis dépend de la ressource en vagues dans une région donnée. Plus la ressource est élevée, plus la production moyenne sera élevée. Selon les informations sur le site web Pelamis, il semble que la puissance moyenne effective d'une machine à vagues Pelamis soit d'environ 150 kW.

Déroulement du projet

Le projet a été conçu à l'origine par la société d'énergie renouvelable portugaise Enersis, qui a développé et financé le projet. Elle a ensuite été achetée par la société australienne d'infrastructure Babcock & Brown en décembre 2005. Au dernier trimestre 2008, la cotation des actions Babcock & Brown a été suspendue et ses actifs ont été mis en liquidation, y compris le projet Aguçadoura.

En novembre 2008, les machines Pelamis ont été ramenées au port de Leixões à cause d'un problème technique avec quelques-uns des roulements pour lesquels une solution a été trouvée. Toutefois, les machines sont restées hors service dans l'attente d'un nouveau partenaire pour la reprise des 77% que détenait Babcock & Brown dans le projet. Il semble toutefois que cela soit peu probable, selon Pelamis "ces machines ne sont pas optimales" et les propriétaires essaient de les vendre. Pelamis concentre maintenant ses efforts sur leur nouvelle machine P2, qui est testée dans les Orcades en Écosse depuis 2010.

Diapo 47

Seules les zones ayant un différentiel de plus de 20° sont exploitables pour l'ETM, donc les aires inter-tropicales.

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

Diapo 48

Le physicien français Jacques Arsène d'Arsonval conceptualise le principe en 1881, mais Jules Verne l'avait déjà imaginé dans 20000 lieues sous les mers, dès 1869.

Son disciple, Georges Claude, fondateur d'Air Liquide, fabrique en 1930 la première centrale de 22kW dans la baie de Matanza, à Cuba.

En 1963, Anderson utilise un autre fluide de contact, le propane.

La crise pétrolière de 1973 relance la recherche et en 1975, une première mini-OTEC voit le jour à Hawaï, puis en 1979 à Shimane au Japon, et enfin en 1981, à Hawaï, qui utilise un échangeur eau-ammoniac.

En 1980, la France entreprend elle aussi l'étude d'une centrale ETM, mais celle-ci est abandonnée en 1986.

Entre 1980 et 1982, les japonais entreprennent d'autres installations d'ETM..

En 1986, le prix du pétrole baisse. Aux États-Unis, il y a diminution de la recherche pour le développement de l'ETM, alors qu'au Japon, on la maintient.

Entre 1993 et 1998, le Japon coopère avec les Américains et fait l'essai d'une mini-usine en cycle ouvert à terre, à Hawaï. En 2001, mise en œuvre d'une usine flottante ETM mouillée au Sud du continent Indien, avec en coopération Inde et Japon.

Aujourd'hui, deux pays en pointe : États-Unis et Japon.

Diapo 50

Cette centrale fonctionna 6 années et apporta d'importantes données sur les futures centrales en cycle ouvert

Diapo 51

La crise pétrolière de 1973 déclenche aux États-Unis et au Japon, le financement de la construction de micro-centrales électriques expérimentales, flottantes ou à terre, et d'études de grosses centrales ETM pour la production d'électricité ou la fabrication de carburants synthétiques. La France contribue à cette relance avec l'étude d'une centrale ETM électrique destinée à la Polynésie Française (1980-1985). Récemment un groupement indo-japonais a annoncé le lancement d'une centrale pilote ETM qui devrait être implantée sur la côte au sud-est de l'Inde.

Diapo 53

L'ETM produit de l'énergie grâce à un fluide de travail (eau de mer, ammoniac ou un autre fluide dont le point de condensation est proche de 4 °C).

Ce fluide passe de l'état liquide à l'état vapeur dans l'évaporateur, au contact de l'eau chaude puisée en surface. La pression produite par la vapeur passe dans un turbogénérateur pour faire tourner une turbine et produire de l'électricité; après que le gaz a perdu sa pression, il passe dans un condenseur pour retourner à l'état liquide, au contact de l'eau froide puisée en profondeur.

L'ETM a besoin de beaucoup d'eau : il faut un très grand débit d'eau de mer pour compenser la faible efficacité due au faible gradient de température et de très grands diamètres de canalisations pour limiter les pertes de charges. Actuellement, il est possible d'utiliser des

tuyaux en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) de 1,5 mètre diamètre, mais dans le futur s'il se construit des centrales de grande puissance, il faudra des canalisations de 15 mètres de diamètre.

L'ETM fonctionne avec un différentiel de températures de l'ordre de 20 °C. Plus le différentiel de température est élevé, plus la production est élevée. En descendant en profondeur on puise de l'eau plus froide et la production à iso-volume augmente.

À ce jour, il existe trois types de centrales ETM :

- ⇒ cycle ouvert
- ⇒ cycle fermé
- ⇒ cycle hybride

Diapo 56

Dans le cycle ouvert:

- Production d'eau potable en plus de l'électricité
- Moins de paroi dans l'évaporateur donc moins de problèmes de bio-salissure
- Grande turbine à cause de la faible pression donc procédé très coûteux
- Problème pour faire le vide d'air

Dans le cycle fermé:

- Petit turbogénérateur grâce à la forte pression, moins coûteux
- Evaporateur volumineux et à double paroi, donc plus de bio-salissure
- L'utilisation de l'ammoniac est un problème pour les matériaux

Dans le cycle hybride:

- Produit deux énergies en grande quantité
- Plus gros coût d'investissement, car deux fois plus de matériel
- Plus grand phénomène de refroidissement des eaux de surfaces

Diapo 58

La production d'énergie maréthermique ne rejette donc pas de dioxyde de carbone (CO₂). De plus, l'utilisation de chlore est fréquente pour éviter le développement des dépôts marins. Celui-ci peut endommager l'écosystème.

La différence de température entre l'entrée et la sortie des canalisations est d'environ 4 °C, ce qui entraîne de faibles modifications, mais pour atténuer davantage les impacts sur la faune et la flore, l'eau est rejetée en profondeur. Pour des centrales de 400 MW, le changement à l'entrée des canalisations est de 0,2 °C. Pour le moment, ces installations sont développées pour des îles (20 MW), et elles restent très éparpillées, le risque est alors négligeable. Mais il faut se soucier du risque cumulatif pour des grosses installations. Une étude a porté sur le golfe du Mexique, en modélisant 100 centrales de 200 MW. Au bout de 30 ans de fonctionnement, on remarque que la température de surface aurait baissé de 0,05 °C, et la température en profondeur aurait augmenté de 1 °C.

Pour des petites installations de 20 MW, on peut se permettre de rejeter l'eau en surface. On constate cependant pour de plus grosses installations un phénomène comparable à la remontée d'eau des profondeurs (« upwelling »), qui favorise l'enrichissement nutritif et stimule la vie aquatique. La remontée d'eau est un phénomène océanographique qui se produit

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon

AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

lorsque de forts vents marins poussent l'eau de surface des océans, laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elle une quantité importante de nutriments.

L'aspiration des espèces vivantes est prise en considération : pour cela des grilles sont mises à l'entrée des canalisations, et elles sont éloignées des côtes en ce qui concerne l'eau de surface. Pour ce qui concerne l'eau froide, il n'y a pratiquement plus de vie à 800 mètres de profondeur.

Pour lutter contre un problème marin récurrent qui est la bio salissure et améliorer le rendement de la machine, on utilise une dose de biocide (0,02 ppm concentration molaire journalière) qui est cinq fois en dessous du seuil réglementaire américain. Aujourd'hui, la dose en biocide devrait être réduite à 0,01 ppm, soit 10 fois en dessous du seuil réglementaire américain.

Le seul risque d'accident possible sur une installation ETM est un risque de perte d'ammoniac. Même si celui-ci est un élément nutritif, une dose trop importante pourrait avoir des impacts néfastes sur l'environnement. L'ammoniac est un fluide connu très employé, les systèmes de sécurité sont fiables.

L'eau en profondeur est plus riche en CO₂ que l'eau de surface. Une étude menée par Sullivan démontre que si tout le CO₂ était relâché, une centrale ETM émettrait 4 fois moins de CO₂ qu'une centrale thermique fossile. Heureusement, seule une faible partie du CO₂ est libérée. Pour un cycle ouvert, environ un centième des 700 g par kWh d'une centrale fossile, et pour un cycle fermé, le taux serait encore plus faible. Au final une centrale ETM est 99 fois moins polluante en CO₂ qu'une centrale fossile.

Pour conclure, les études montrent que si nous arrivions à récupérer 0,07% de l'énergie solaire absorbée par les océans, ce qui représenterait 10 millions de MW, les conséquences environnementales seraient insignifiantes.

Diapo 59

Objectif : concrétiser le projet d'ETM

Montrer qu'à partir de l'ETM, on obtient de bons rendements sur la production d'électricité, d'hydrogène et d'eau potable.

Coproductions autour de l'unique ETM, ce qui permet une vie industrielle, une création d'emplois et un bilan carbone moins important (transport de qq km).

Aujourd'hui, immense site avec 3 types de canalisations : une canalisation de surface et deux de profondeur.

En surface, dans un périmètre de 180 mètres aux larges des côtes, à une profondeur de 13,5 mètres, posées à une distance précise du sol marin afin que le sable, les coraux et la vie aquatique ne soient pas aspirés. Ici, les canalisations ont été mises à 13,5 mètres du fond.

En profondeur, deux existent, l'une récente et une ancienne.

L'ancienne canalisation pompait une eau à 6°C, à une profondeur de 600 mètres.

Actuellement L'ETM d'Hawaï puise à 900 mètres de profondeur une eau à 4°C, par l'intermédiaire de 55 tuyaux assemblés.

Diapo 60

Nous sommes sur la grande île de l'archipel Hawaïen, à Keahole Point.

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

NELHA = Natural Energy Laboratory of Hawaiian Authority

Diapo 61

Eau douce : utilisation du cycle ouvert

Réfrigération de bâtiments : utiliser l'eau de sortie (froide)

Aquaculture : réutiliser l'eau froide issue de la production d'électricité pour élever des poissons dans de bonnes conditions, car l'eau de profondeur est riche en nutriments

Agriculture : refroidissement du sol par des canalisations d'eau de mer et condenser l'air ambiant pour humidifier et stimuler la pousse

Biomasse : utiliser la biomasse marine qui pousse plus rapidement et alimenter des centrales thermiques.

Actuellement, le prix du kWh pour des centrales proches des côtes (faible puissance) reste coûteux. Pour rendre rentable le procédé ETM, il serait plus intéressant de produire des combustibles synthétiques (hydrogène, ammoniac, méthanol) :

L'hydrogène a été choisi comme vecteur d'énergie, car il répond à deux critères :

la combustion de l'hydrogène ne dégage que de l'eau

l'ETM est en mesure d'apporter une solution électrolytique (eau de mer en abondance) pour sa fabrication grâce au principe de l'électrolyse.

Diapo 63

L'eau profonde est froide, mais elle aussi est aussi riche en substances nutritives, peu polluée et pauvre en germes pathogènes pour les organismes vivant dans les eaux de surface. Ces propriétés peuvent être utilisées dans une multitude d'applications - associées ou non à l'ETM - et notamment au conditionnement d'air et à la réfrigération, à la production d'eau douce, à l'aquaculture marine, etc. C'est surtout aux Etats-Unis et au Japon que ces applications sont étudiées.

Aux Etats-Unis, c'est au " Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority " - le NELHA - que sont concentrés les travaux de recherche sur ce thème. Sur le site de Keahole Point couvrant plus de 400 hectares sur la grande île d'Hawaï, le NELHA met à la disposition d'organismes privés et publics des laboratoires pourvus de l'alimentation en eau froide profonde nécessaire à leurs travaux. Les objectifs et les résultats sont multiples et parfois surprenants.

Au Japon il existe plusieurs laboratoires de ce type à Kochi (1980), à Toyama (1995), Kumejima - Préfecture d'Okinawa (2000). Plusieurs autres localités sont candidates à la construction d'installations similaires qui sont de véritables incubateurs d'entreprises pour le développement de produits et de services utilisant l'eau profonde

Diapo 65

On peut aussi imaginer une centrale ETM off shore.

Diapo 66

La Région Réunion et la DCNS (Direction de Constructions Navale, Systèmes et services) ont signé le 15 octobre 2009 une deuxième convention relative au projet Energie Thermique des

Mers (ETM) pour l'île française de l'océan Indien. Cette convention, qui prévoit notamment la réalisation d'un démonstrateur (système ETM à échelle de puissance réduite), est signée dans le cadre du partenariat de Recherche et Développement mis en place par le groupe naval et la collectivité territoriale. L'objectif est de vérifier la faisabilité de l'implantation d'un démonstrateur ETM à la Réunion.

La DCNS a débuté les premiers travaux d'ingénierie du démonstrateur suite à la signature d'une première convention, en avril 2009. Ces travaux ont mis en évidence la nécessité de rechercher des optimisations technologiques devant s'intégrer au plus tôt dans le développement de centrales ETM.

Pour cela, un banc de test va être réalisé. Scientifiquement, cette centrale pilote vise à mettre à disposition des chercheurs un laboratoire d'expérimentation sur cette nouvelle technologie. Elle permettra dans le même temps de valider les systèmes thermodynamiques existants, rechercher des optimisations, tout en déterminant, dans le contexte réunionnais, les conditions techniques, économiques et financières de réalisation du démonstrateur ETM. Enfin, le banc de test servira aux futurs techniciens de maintenance pour leur permettre de maîtriser le système.

Produire de l'énergie 24H/24

La DCNS doit parallèlement réaliser des études ayant pour objectif de lever les risques techniques du projet. Les travaux porteront sur les risques principaux du système : le pompage de l'eau froide en grande profondeur et les conditions d'ancrage propres à la Réunion.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre du plan de relance économique de l'Etat et répond à la volonté de la Région Réunion d'atteindre son autonomie en énergie électrique à l'horizon 2025. Parmi les filières technologiques des Energies Marines, l'Energie Thermique des Mers apparaît comme une solution d'avenir adaptée et 100% renouvelable. Elle pourrait même, à terme, effacer la production charbon de l'île.

En effet, la localisation de l'île sur la ceinture tropicale permet d'exploiter la différence de température qui existe naturellement entre la surface et les profondeurs de l'océan. Il s'agirait de produire de l'électricité, mais aussi des produits dérivés (eau douce, climatisation, amélioration de l'aquaculture et de la culture d'algues ...). L'atout majeur de l'ETM, qui a fait l'objet en 2008 d'une étude autofinancée de préféabilité par la DCNS, est qu'il peut produire de l'énergie 24H/24H.

Mais, comme chacun sait, la balle est désormais, grâce à Mme Penchard, dans le camp de la Martinique.

Diapo 73

À partir d'algues, avec le meilleur rendement rendant envisageable une production en quantité significative sans déforestation massive.

Il s'agit de la cultures d'algues unicellulaires à forte teneur en lipides (50 % à 80% en masse) et à temps de doublement rapide (de l'ordre de 24 h) permettant une production de biodiesel

« Les Energies Renouvelables 2 – La Mer par Bruno Bourgeon

AID - 24 Janvier 2012 – Commentaires des diapositives

moins polluante et plus efficace que l'agriculture intensive de végétaux terrestres : les superficies nécessaires sont 30 fois moindres.

Plusieurs techniques de production sont étudiées :

- ⇒ Culture en étang.
- ⇒ Culture sous serre.
- ⇒ Culture dans des bioréacteurs fortement insolés, où la production d'algues est accélérée par barbotage de CO₂ (évitant ainsi le rejet immédiat de ce gaz à effet de serre)

Les lipides extraits de cette biomasse peuvent être utilisés

- ⇒ soit directement comme huile végétale pour alimenter les moteurs diesel, à 100 % pour ceux qui le tolèrent : tracteurs, moteurs de bateaux, moteurs de camions et voitures de modèles des années 1990
- ⇒ ou en mélange à du gazole, jusqu'à 50 % sans modification, pour les moteurs récents, plus sensibles,
- ⇒ soit soumis à une transestérification pour produire du biodiesel. Les résidus peuvent encore être valorisés, par exemple par une fermentation produisant du bioéthanol.

Une limite de cette filière est l'alimentation des cultures d'algues en CO₂. Tant que ce CO₂ sera issu de l'exploitation d'une énergie fossile, on ne pourra pas considérer cette source de biocarburant comme une EnR, pas plus que si on l'utilise comme combustible direct dans une centrale thermique, en addition au charbon ou au fuel lourd.

Diapo 74

Ce graphique final pour vous donner un ordre de grandeur des productions en puissance des différentes formes d'EnR.

Nous parlerons en mars de la géothermie en milieu tropical au travers de l'expérience de Bouillante, en Guadeloupe, avec un petit clip à la clé. Nous avons déjà parlé de géothermie en montrant l'expérience islandaise, dans le diaporama sur le scénario Négawatt.

Diapo 75

Après cette ultime illustration, nous évoquerons ensemble les possibilités réunionnaises de se débarrasser de l'achat de houille, de fuel, ou de gaz à visée de production électrique. Je vous invite d'ores et déjà à visiter le site Web de AID, retrouver l'ensemble des diaporamas, faire votre propre recherche sur le Net, afin d'apporter, par votre vécu personnel, votre ipséité dirait Paul Ricoeur, votre expérience, vos aspirations, chacun d'entre vous, votre grain de sable à l'édifice que nous souhaitons construire, faire d'AID une véritable force de propositions sur l'énergie réunionnaise.

Je vous remercie de votre attention.

Diapo 76

Un dernier sourire, après les nourritures spirituelles, et avant les nourritures terrestres.