

La récupération de l'énergie de la houle, partie 2 : systèmes de récupération et aspects électriques

Judicael Aubry, Aurélien Babarit, Hamid Ben Ahmed, Bernard Multon

► To cite this version:

Judicael Aubry, Aurélien Babarit, Hamid Ben Ahmed, Bernard Multon. La récupération de l'énergie de la houle, partie 2 : systèmes de récupération et aspects électriques. La Revue 3 E. I, Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication, 2009, pp.26-32. hal-00676186

HAL Id: hal-00676186

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00676186>

Submitted on 5 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La récupération de l'énergie de la houle, Partie 2 : Systèmes de récupération et aspects électriques.

Judicaël AUBRY¹, Aurélien BABARIT², Hamid BEN AHMED¹ et Bernard MULTON¹

1. Laboratoire SATIE CNRS, ENS de Cachan, Site de Bretagne

Campus de Ker Lann, 35170 BRUZ

nom@bretagne.ens-cachan.fr

2. Laboratoire de Mécanique des Fluides CNRS, Ecole Centrale de Nantes

1 rue de la Noë, 44 321 Nantes Cédex 3

aurelien.babarit@ec-nantes.fr

Cet article traite, en deux parties, de la problématique de récupération de l'énergie de la houle. La première partie est consacrée à la caractérisation de la ressource énergétique que constitue la houle, et dans un second temps, à la modélisation physique de l'interaction d'un fluide avec une structure, problème physique typique dans la récupération de l'énergie des vagues. Dans la seconde partie, un panorama de plusieurs récupérateurs de l'énergie de la houle, aussi appelés houlogénérateurs, sera présenté mais ne saurait être exhaustif étant donnée la diversité de principes qui existent. Le dernier chapitre mettra en avant les problématiques de génie électrique spécifiques à de tels systèmes.

1 Les systèmes de récupération de l'énergie de la houle

Récupérer l'énergie de la houle est une idée ancienne. Le premier brevet relatif à cette idée provient des frères Girard et date de 1799. Plus récemment, la crise pétrolière de 1973, a relancé cette idée et les premiers systèmes réalistes destinés à récupérer cette énergie sont nés. Au fur et à mesure des avancées technologiques, ces systèmes se sont éloignés de la côte. Pour la plupart d'abord « onshore », les systèmes ont migrés au voisinage des côtes dans une zone que l'on appelle « nearshore » ou en pleine mer pour devenir « offshore ». L'intérêt de cette migration est la diminution de l'impact visuel, environnemental voire sonore mais aussi la possibilité d'exploiter une ressource plus forte car la majeure partie de l'énergie de la houle est dissipée à l'approche des côtes lorsque la bathymétrie remonte. Les systèmes « onshore » ont aussi l'inconvénient de devoir s'adapter à la topologie de la côte tandis que la technologie « offshore » permet de standardiser plus facilement les systèmes. La maintenance devient par contre beaucoup plus problématique quand le houlogénérateur est situé à quelques kilomètres des côtes et qu'il faut des conditions climatiques particulières (mer calme, pas de vent...) pour pouvoir intervenir. Dans certaines zones « bien exposées », on estime à seulement quelques jours, la fenêtre annuelle de temps disponible pour la maintenance.

1.1 Les colonnes d'eau oscillantes

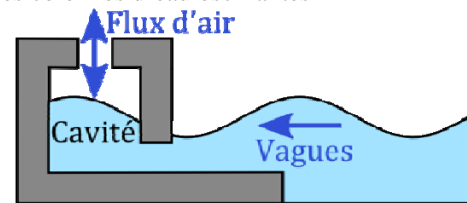


Figure 1 : Principe d'une colonne d'eau oscillante

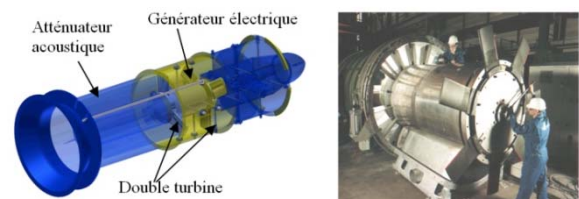


Figure 2 : Turbogénérateur Wavegen à turbines Wells en cours de montage (groupe de 500 kW), courtesy of Wavegen

Le principe de ces systèmes (cf figure 1) est de se servir des variations de hauteur de la surface libre de la mer comme d'un piston. Les oscillations de la surface libre créent, dans une cavité, des variations de pression avec l'extérieur. Le flux d'air ainsi créé à travers un orifice permet d'entraîner une turbine reliée à un alternateur. La turbine est conçue de telle manière que son sens de rotation soit indépendant du sens de circulation du flux d'air (Turbine Wells (cf figure 2) ou Deniss-Auld).



Figure 3 : *Limpet et Oceanlinx (Source Wavegen et Oceanlinx)*

Installé à Islay, en Écosse, depuis 2001, le prototype **Limpet (UK)** (cf figure 3) (Land Installed Marine Powered Energy Transformer) (cf figure 3), de la société Wavegen, et d'une puissance de 500kW, est raccordé au réseau électrique du Royaume-Uni. Il exploite trois colonnes d'eau permettant d'atteindre une surface de captation de 169m² (surface interne de la cavité). Le turbogénérateur est constitué de deux turbines Wells, entraînant chacune une génératrice à double alimentation de 250kW.

Oceanlinx (AU) (anciennement Energetech) est une compagnie australienne ayant mis au point un système offshore à base de colonne d'eau oscillante à turbine Deniss-Auld (cf figure 3). Il est prévu pour fournir à la fois de l'électricité avec une puissance maximale de 1.5MW mais aussi de l'eau désalinisée. Cette double production est très intéressante pour des sites isolés comme des îles. Plusieurs projets sont d'ailleurs en cours, notamment sur les îles d'Hawaï. Ces dispositifs flottants peuvent être aussi utilisés comme "brises-vagues" afin de protéger des sites côtiers comme par exemple des ports ou des sites de pisciculture.

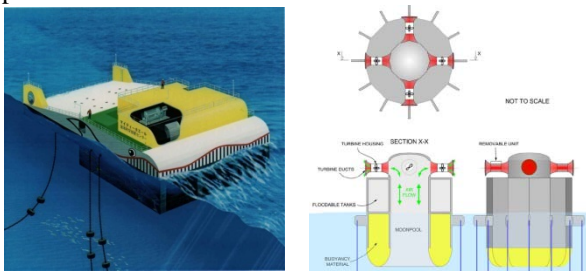


Figure 4 : *Mighty Whale et Sperboy (Source Jamstec et Sperboy)*

La **Mighty Whale (JP)** (cf figure 4) (Jamstec : Japan Marine Science and Technology Center) est un navire prototype de 50 m sur 30 m et 12 m de profondeur, mis en service en 1998. La puissance maximale est de 110 kW pour $H_s = 8$ m et $T_p = 10$ à 15 s. Le système de conversion comprend 3 chambres à colonnes oscillantes associées à 3 groupes turbines Wells génératrices asynchrones (1 x 50 kW et 2 x 30 kW) à vitesse variable (300 à 1800 tr/min).

Le **Sperboy (UK)** (cf figure 4) constitué d'un flotteur de 4 m de diamètre sous lequel se trouvent des tubes (colonnes d'eau oscillantes) descendant à 12 m sous la surface et au-dessus duquel se trouve le système

de conversion contenant les chambres de compression et un ensemble de 4 turbines génératrices horizontales délivrant une puissance totale maximale de 140 kW.

1.2 Les systèmes à déferlement

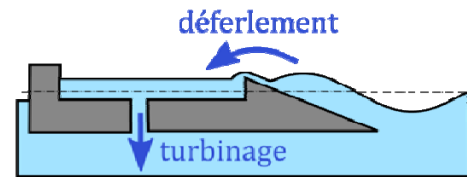


Figure 5 : *Principe des systèmes à déferlement*

Dans ces dispositifs (cf figure 5), l'eau déferle sur une pente douce pour remplir un réservoir situé au dessus du niveau de la mer. L'eau stockée est alors évacuée entraînant dans le même temps une turbine reliée à un générateur électrique. Le principal avantage de ces systèmes est de lisser naturellement la puissance récupérée. Le réservoir joue le rôle de capacité dans laquelle on stockerait de l'énergie potentielle de pesanteur. Certains dispositifs sont fixés à la côte et subissent l'effet des marées. D'autres systèmes sont amarrés en pleine mer, et sont libres de monter et descendre aux rythmes des marées. Ils récupèrent donc l'eau de manière optimale tout au long de la journée et ne sont pas influencés par les marées.



Figure 6 : *Tapchan*

Le **Tapchan (NO)** (cf figure 6) (pour Tapered Channel : Canal fuselé). Construit en 1985 sur la côte Norvégienne, à Toftstallen, il a fonctionné pendant six ans puis fut arrêté à la suite d'une tempête. Il fournissait une puissance de 350kW. De tels systèmes côtiers, sont assez intrusifs du point de vue environnemental et ne sont réalisables que sur des sites présentant une morphologie adaptée.

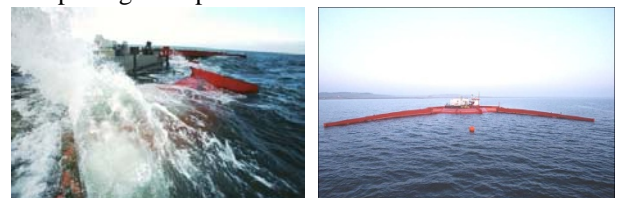


Figure 7 : *Wave Dragon (Source Wave Dragon)*

Le **Wave Dragon (DK)** (cf figure 7) est un dispositif offshore, flottant et amarré. Il possède des chambres de lestage permettant d'ajuster sa ligne de flottaison en fonction de la houle incidente. Il est équipé de 16 turbines basse chute (type Kaplan)

permettant d'évacuer l'eau du réservoir, transformant ainsi l'énergie potentielle accumulée en énergie électrique. L'utilisation de plusieurs turbines permet de mieux optimiser le rendement global du système en fonction du débit. Les turbines Kaplan entraînent ainsi des génératrices synchrones à aimants permanents en entraînement direct. Les dimensions de la version échelle 1 sont 300 m (distance entre extrémités des bras), 170 m (longueur) et 17 m de hauteur dont 3 à 6 m au-dessus du niveau de la mer. La masse totale est de 33 000 tonnes avec un réservoir d'une capacité de 8000 m³. Sa puissance maximale est de 7 MW avec une productivité annuelle de 20 GWh pour une ressource moyenne de 36 kW/m. Ainsi le nombre d'heures en équivalent à pleine puissance atteint 2800.

1.3 Les systèmes à corps mus par la houle

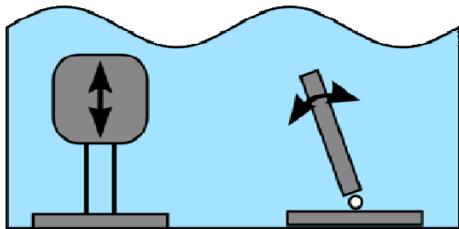


Figure 8 : Les systèmes à corps mus par la houle à référence externe

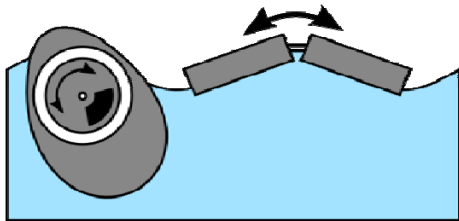


Figure 9 : Les systèmes à corps mus par la houle à référence interne

La houle anime ici un mouvement relatif entre plusieurs corps (cf figure 9). Un des corps peut être amarré (cf figure 8). Le mouvement créé est souvent simple, une translation ou une rotation, mais peut être aussi plus complexe. Ce mouvement est amorti afin de récupérer de l'énergie. Le générateur électrique peut constituer lui même l'amortisseur, on parle alors d'entraînement direct. Le mouvement peut aussi être amorti par un système hydropneumatique ou oléopneumatique associé alors à un moteur hydraulique entraînant une génératrice électrique.

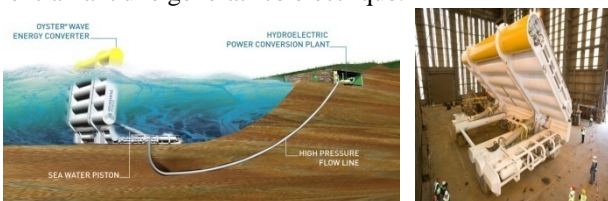


Figure 10 : Oyster (Source Aquamarine)

Le système **Oyster (UK&IR)** (cf figure 10) de la compagnie Aquamarine Power, développé en collaboration avec l'université Queen's de Belfast, consiste en un panneau de 18m sur 12 qui oscille avec les vagues. Son mouvement vient comprimer un fluide (eau) au travers de deux pistons. Le fluide mis sous pression alimente une turbine hydro-électrique au travers d'un conduit l'amenant au niveau de la côte. C'est un dispositif à référence externe, conçu pour être "nearshore" et fonctionner avec une bathymétrie de 10 à 12m. La puissance crête d'une "Oyster" (huître en anglais) est comprise entre 300kW et 600kW. Son poids est quant à lui de 194 tonnes. Ce système est actuellement en phase de déploiement sur le site de l'EMEC en Ecosse (cf. Partie 1 : Sites d'expérimentation en mer).

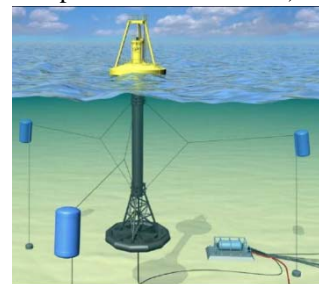


Figure 11 : Powerbuoy (Source OPT)

Le système **PowerBuoy (USA)** (Ocean Power Technologies, Inc) (cf figure 11) est une bouée immergée, avec une partie fixe, un ancrage tendu et une partie oscillante au rythme de la houle, le mouvement relatif est amorti pour être converti en électricité. Seule une balise indique la présence du système sous l'eau pour la navigation. Ce système, dont la fréquence propre rend ses performances très sensibles à la période de houle, nécessite un contrôle spécifique pour maximiser l'extraction de l'énergie, incluant notamment une composante prédictive. Le dispositif de conversion comprend une pompe, un accumulateur et un moteur hydrauliques, ce dernier entraînant une génératrice électrique.

Un modèle de 40 kW a été testé entre 1997 et 2002 : il fait 9 m de haut pour un diamètre de 1,5 m au niveau du flotteur, avec une masse de 2140 kg. Des modèles de 150 et 250 kW sont envisagés.

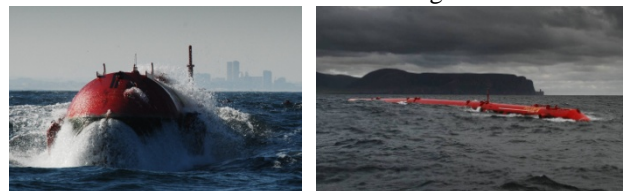


Figure 12 : Pelamis (Source OPD)

Pour le **Pelamis (UK)** (cf figure 12), les corps en mouvement sont ici des cylindres reliés entre eux par des articulations à deux degrés de liberté (type sphérique à doigt). Le mouvement est amorti par des vérins hydrauliques. L'énergie est stockée sous forme

pneumatique dans des cavités remplies de gaz et mises sous pression par de l'huile. Six moteurs hydrauliques entraînent chacun une génératrice asynchrone de 125kW. Le stockage intermédiaire sous pression permet au Pelamis de fournir une énergie électrique de manière relativement continue malgré une ressource très pulsatoire. C'est à l'heure actuelle le système le plus abouti. Une ferme de 3 Pelamis a été installée au nord du Portugal. La puissance installée est de 2.25MW. Le coût annoncé du kWh pour cette ferme d'Aguçadoura est de 0.23€/kWh. La production annuelle estimée est de 2.7GWh par unité pour une ressource de 55kW/m, soit 3600 heures à pleine puissance. Plusieurs projets de fermes sont envisagés notamment en Écosse et en Cornouaille. Les principaux inconvénients de ce système restent sa sensibilité au milieu marin, très corrosif, et sa résistance à la fatigue mécanique en cyclage.

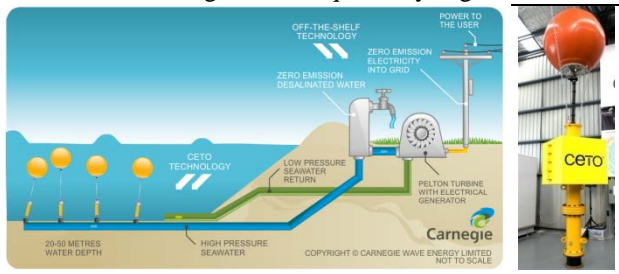


Figure 13 : CETO (Source Carnegie)

CETO (AU) est ce que l'on appelle un « point absorber », c'est-à-dire un système pilonnant (qui effectue des mouvements verticaux). Il est conçu pour être totalement submergé et comprimer de l'eau de mer. Cette eau sous pression est acheminée à terre pour être utilisée dans un osmoseur inverse pour la production d'eau désalinisée et entrainer une turbine Pelton pour la production d'électricité.

EDF Energies Nouvelles, qui a acquis en janvier 2008 un droit exclusif d'utilisation de cette technologie dans l'hémisphère nord et à La Réunion, prévoit d'installer à l'île Maurice, 200 MW sur 5 sites expérimentaux de 40 MW chacun, soit l'équivalent de 50% des besoins électriques de l'île.



Figure 14 : Principe de fonctionnement de l'Anaconda (Source Checkmate)

L'Anaconda (UK) est un récupérateur de l'énergie des vagues exploitant ce que l'on appelle les ondes de renflement. Ce sont des ondes de pression générées à l'intérieur d'un tube de caoutchouc long de 200m avec un diamètre de 7m. Les ondes de pression, composées d'alternances de surpression et de

dépression, viennent s'accumuler dans deux réservoirs situés à l'extrémité du tube (un réservoir pour la haute pression, un pour la basse). L'énergie électrique est ensuite produite en exploitant la différence de pression entre ces deux réservoirs.

La puissance maximale annoncée pour le système à l'échelle 1 est de 1MW pour un poids de 110 tonnes (principalement de caoutchouc). Le coût du kWh envisagé est de 0,7 centimes d'euros.

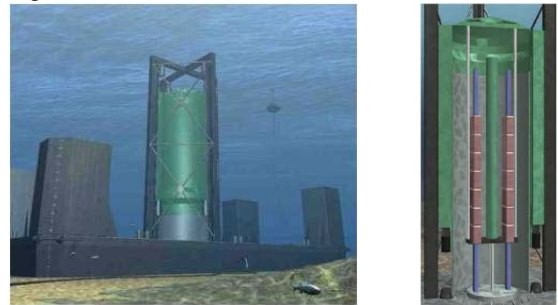


Figure 15 : AWS (Source AWS)

L'idée de l'**AWS (UK)** (Archimede Wave Swing) est d'exploiter le mouvement de pilonnement (vertical) d'une bouée immergée. Une unité de production est constituée d'un flotteur cylindrique qui coulisse sous l'effet de la houle autour d'un autre fixé sur le fond de la mer. Le mouvement créé actionne un générateur électrique linéaire en entraînement direct. La version pilote, testée en 2004, au large du Portugal, était dimensionnée pour une puissance crête de 2MW et une puissance nominale de 1MW. Le générateur linéaire est une machine à aimants permanents déposés en surface. Le système n'ayant qu'un seul degré de liberté, la modélisation hydrodynamique et mécanique du système se ramène à une équation différentielle du second ordre. Le terme de rappel (proportionnel à la position) est dû au fait que le flotteur agit comme un piston. Lors de son mouvement il comprime et détend de l'air dans une chambre étanche mais aussi de l'azote dans des pistons. La pression de l'azote dans ces pistons est ajustable et ce terme de rappel peut donc être ajusté afin d'ajuster la fréquence de résonance du système aux différentes fréquences d'excitation rencontrées. Cela permet de récupérer le maximum d'énergie sur une plage de périodes de houle assez élevée (entre 5 et 15s). L'effet de résonance permet d'atteindre des amplitudes de mouvement jusqu'à sept fois plus grande que l'amplitude de la variation de hauteur de la surface de la mer. L'énergie annuelle récupérée annoncée est de 1.64GWh sur le site pilote portugais, soit 1640 heures à puissance nominale. Sur la version pilote et pour des raisons de coût, la partie mobile du générateur linéaire est plus longue de seulement trois mètres que la partie fixe. Cela grève évidemment les capacités du système sur les mouvements de forte amplitude. Pour éviter d'avoir des mouvements d'amplitude trop importante, le système est prévu avec des butées mécaniques. Le système

possède des amortisseurs hydrauliques eux aussi prévus pour limiter les mouvements. Cela évite au générateur linéaire de devoir fournir des forces trop importantes pour avoir des mouvements raisonnables, mais l'énergie récupérée est en contre partie plus faible.

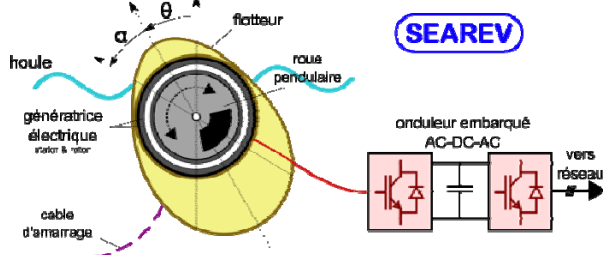


Figure 16 : Schéma de principe du SEAREV avec chaîne de conversion directe

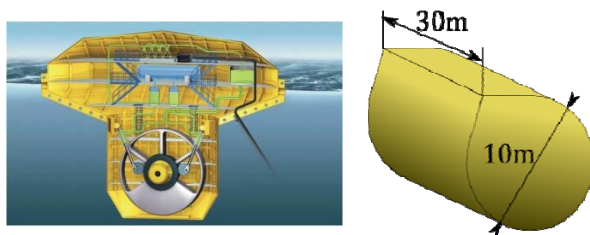


Figure 17 : Ancienne géométrie avec chaîne de conversion indirecte (à gauche) et nouvelle géométrie du SEAREV (Source Ecole Centrale de Nantes)

Le principe du **Searev (FR)** a été élaboré au Laboratoire de Mécanique des Fluides (LMF) de l'Ecole Centrale de Nantes [Searev, Babarit]. Une collaboration est en place depuis 2003 avec le laboratoire SATIE afin d'étudier une solution de conversion d'énergie composée d'une génératrice en entraînement direct associée à un convertisseur électronique et une stratégie de pilotage en lieu et place d'une solution oléopneumatique [Ruellan]. Le Searev est constitué d'un flotteur mis en mouvement par la houle. A l'intérieur de celui-ci, une roue à masse excentrée, pendule par rapport au flotteur. Une génératrice électrique (type machine synchrone à aimants par exemple) en entraînement direct, permet de convertir l'énergie mécanique de la roue pendulaire en énergie électrique et amortit alors le mouvement relatif entre ces deux parties. Le contrôle de ce dernier permet d'imposer à chaque instant le couple qu'oppose le générateur au pendule.

Nous présentons à titre d'exemple à la figure 18 le profil de variation de la puissance électrique récupérée pour une houle donnée : $T_p=8s$, $H_s=3m$. Le contrôle du couple de récupération est de type amortissement visqueux avec un écrêtage de la puissance.

Il en résulte deux paramètres de contrôle, le coefficient d'amortissement visqueux et la puissance d'écrtage, en fonction desquels nous traçons, sur la figure 19, la puissance mécanique récupérée pour la même houle que précédemment. Nous pouvons remarquer, qu'à puissance d'écrtage donnée, il existe une valeur du coefficient d'amortissement visqueux qui

maximise la puissance mécanique (points blancs). Jusqu'à une puissance d'écrtage de 1.5 MW, la puissance mécanique maximale est peu affectée (la durée cumulée dans la zone d'écrtage est faible). Au-delà, on constate une diminution de la puissance mécanique récupérable qui va de pair avec une augmentation du coefficient d'amortissement optimal.

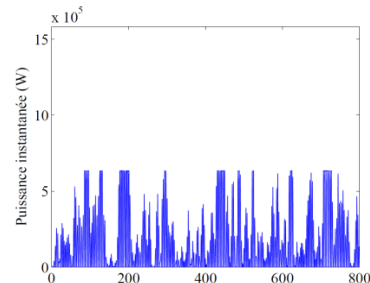


Figure 18 : Exemple de puissance électrique écrtée et récupérée pour une houle de $H_s=3m$, $T_p=8s$

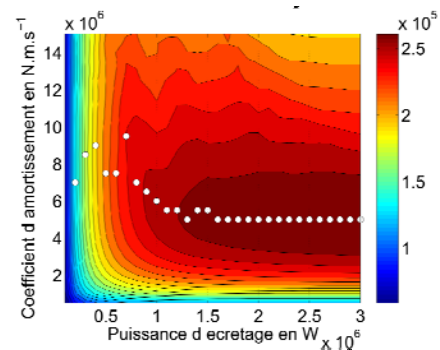


Figure 19 : Cartographie de la puissance mécanique (avant conversion électrique) en fonction des deux paramètres de contrôle du couple de récupération pour une houle de $H_s=3m$, $T_p=8s$

2 Quelques problématiques « Génie électrique » dans les houlogénérateurs.

2.1. Entraînement direct ou indirect

Le but premier des convertisseurs d'énergie des vagues (Wave Energy Converters ou WEC) est de transformer une énergie mécanique en énergie électrique. Quelle que soit la manière dont cette conversion est faite, il y aura forcément un maillon de la chaîne de conversion où des compétences électrotechniques seront requises. Cependant selon les systèmes, la conversion électromécanique ne remplit pas le même cahier des charges. Dans le cas du Pelamis, le mouvement est amorti par des vérins et l'énergie est stockée sous forme hydraulique. L'énergie électrique est alors produite dans un second temps. On parle de conversion indirecte. Dans le cas de l'AWS (ancienne version), le mouvement est directement amorti par un générateur électrique. Il n'y a pas de passage par une autre forme d'énergie. On parle alors de conversion directe (Direct Drive) [Mueller].

La conversion directe est à l'heure actuelle assez peu envisagée. Elle offre pourtant des avantages

importants en termes de fiabilité et de maintenance, points cruciaux dans des systèmes « offshore », mais aussi d'un point de vue rendement de conversion. En limitant le nombre d'étages de conversion, on limite les multiples sources de pertes.

Elle a malgré tout ses inconvénients. Elle nécessite de développer des génératrices électriques non standards et donc plus coûteuses et la puissance produite est naturellement pulsante au rythme des vagues. Dans le cas de la conversion directe, le travail de conception de la chaîne de conversion électrique est également plus complexe. Le cahier des charges est tel que le générateur ne peut se trouver dans un catalogue fabricant. A l'heure actuelle, peu de systèmes utilisent la conversion directe et parmi eux, tous (à notre connaissance) utilisent un générateur linéaire, a priori plus adapté à la récupération de l'énergie des vagues lorsque les mouvements sont linéaires. L'inconvénient du générateur linéaire est qu'il y a toujours une partie active inutilisée, alors que les générateurs tournants ne présentent pas cet inconvénient. Seul le projet SEAREV, envisagé à l'heure actuelle, l'utilisation d'un générateur tournant en entraînement direct. Quelles soient linéaires ou tournantes, ce sera principalement des machines lentes et donc de taille et de masse importantes [Mc Donald].

2.2. Lissage de la production électrique

La houle est une forme d'énergie naturellement pulsante : à l'échelle de la vague mais aussi à l'échelle de ce que l'on appelle les « bouffées » de vagues (voir figure 4 de la première partie). C'est aussi une source d'énergie que l'on qualifie d'intermittente, au même titre que l'énergie éolienne ou solaire, mais son intermittence (variabilité à l'échelle de l'heure et de la journée) est plus prédictible que celle des deux énergies précédemment citées, notamment grâce au fait que la houle est un sous-produit du vent et que la mesure de ce dernier permet de prévoir la ressource houlomotrice au moins à court terme.

Un des enjeux pour la pénétration de l'énergie des vagues dans un réseau électrique est de pallier cet aspect pulsatoire. Les systèmes à déferlement passant naturellement par une forme de stockage gravitaire, permettent de produire une puissance « lissée ». Dans les systèmes à colonnes d'eau oscillante, la pulsation de la puissance produite est double de celle des vagues. Pour les systèmes à corps mus par la houle, le choix d'une conversion indirecte offre une forme d'énergie intermédiaire permettant le lissage de la puissance, mais la conversion directe peut nécessiter de faire appel à des moyens de stockage.

Ce système de stockage doit être dimensionné en tenant compte du vieillissement en cyclage. En effet, si l'on considère une vague toutes les 8s en moyenne, cela fait sur 10ans environ 40 millions de cycles. A l'heure actuelle, même s'il reste des avancées

technologiques à effectuer, la seule technologie capable d'envisager de supporter un cyclage aussi important est celle des supercondensateurs [Murray]

2.3. Le transport de l'énergie électrique

Tous les houlogénérateurs récents sont conçus pour fonctionner au large. La question de l'acheminement de la puissance récupérée sur la côte doit donc être posée. Certains systèmes, comme le CETO, ne transmettent à terre que de l'eau sous pression. Mais d'autres génèrent l'électricité à bord.

Pour des raisons économiques, il peut être prévu, à l'instar des éoliennes offshore, de mutualiser le câble électrique d'acheminement pour une ferme de houlogénérateurs, voire des moyens marins différents (éolien, hydrolien et houle). Les « hubs », où viendraient se brancher les différents systèmes, seraient le point de raccordement commun.

2.4. Le dimensionnement sur cycle de la chaîne de conversion

Les systèmes de production électrique classiques (alternateur, turbo alternateur pour centrales thermiques ou nucléaires) sont conçus pour fonctionner sur un point nominal. Leurs dimensionnements est donc aussi fait de manière classique en ne considérant qu'un seul point de fonctionnement. On parle ainsi de couple quadratique, censé représenter le couple « dimensionnant ». Cette approche traditionnelle relie le couple quadratique au courant efficace, donc aux pertes Joule et enfin à l'échauffement de la machine.

Dans le contexte de la récupération de l'énergie de la houle mais c'est aussi vrai dans les éoliennes, et principalement dans les systèmes où la conversion directe est envisagée, la notion d'un point de fonctionnement nominal devient caduque. Il convient alors de définir une démarche de dimensionnement « sur cycle » dans laquelle la notion de point de fonctionnement nominal n'est pas nécessaire à la construction du cahier des charges.

Afin d'illustrer ce principe de l'optimisation sur cycle d'une chaîne de conversion électrique, le lecteur pourra se reporter aux références [Aubry, Ruellan] disponibles sur Internet.

Conclusion

Dans cette deuxième partie de l'article consacré à la récupération de l'énergie de la houle, nous avons dans un premier temps présenté les différents types de houlogénérateurs : les colonnes d'eau oscillantes, les rampes à déferlement, les systèmes à corps mus par la houle.

Nous avons ensuite évoqué les problématiques du génie électrique liés à ces houlogénérateurs et qui en font des contextes de recherche intéressants.

Références

Colonnes d'eau oscillantes :

Wavegen : <http://www.wavegen.co.uk/>
Oceanlinx : <http://www.oceanlinx.com/>
Jamstec : <http://www.jamstec.go.jp>
Sperboy : <http://www.sperboy.com/>

Systèmes à déferlement :

Wave Dragon : <http://www.wavedragon.net/>

Systèmes à corps mus par la houle :

Aquamarine : <http://www.aquamarinepower.com/>
OPD : <http://www.pelamiswave.com/>
OPT : <http://www.oceanpowertechnologies.com/>
Checkmate : <http://www.checkmateuk.com/seaenergy/>
Ceto : <http://www.carnegiecorp.com.au/>
AWS : <http://www.awsocan.com>

[Aubry] J. Aubry, B. Multon, H. Ben Ahmed, M. Ruellan, – Optimisation en couplage fort du pilotage et de la chaîne de conversion tout-électrique du houlogénérateur Searev, Conférence Electrotechnique du Futur 2009, Disponible sur <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00439646>

[Babarit] A. Babarit, – Optimisation Hydrodynamique et Contrôle Optimal d'un récupérateur de l'Énergie des Vagues. . Thèse de doctorat de l'université de Nantes, 2005

[Mc Donald] A. S. Mc Donald, – Structural analysis of low speed, high torque electrical generators for direct drive renewable energy converters. . Thèse de doctorat de l'université d'Edimbourg, 2008

[Mueller] M. A. Mueller, H. Polinder, N. Baker – Current and Novel Electrical Generator Technology for Wave Energy Converters, Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International

[Multon] B. Multon, A. Clément, M. Ruellan, J. Seigneurbieux, H. Ben Ahmed – Systèmes de conversion des ressources énergétiques marines , Chapitre 7 du tome 1 du livre « Les Nouvelles Technologies de l'Énergie », Hermès Publishing, 2006.

[Murray] D. B. Murray, M.G. Egan, J. G. Hayes et D. L. O'Sullivan – Applications of Supercapacitor Energy Storage for a Wave Energy Converter System, Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden, 2009

[Ruellan] M. Ruellan – Méthodologie de dimensionnement d'un système électromagnétique de récupération de l'énergie des vagues. Thèse de doctorat de l'École normale supérieure de Cachan, 2007, Disponible sur <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00239367/fr/>

[Searev] A. Clément, A. Babarit, G. Duclos, – Appareil pour convertir l'énergie des vagues en énergie électrique. Brevet d'invention français, N° d'enregistrement national : 0410927