



HAL
open science

Contrôle lent d'un houlomoteur à pendule embarqué par ballastage/déballastage

Alain H. Clément, M Le Bail, Aurélien Babarit

► To cite this version:

Alain H. Clément, M Le Bail, Aurélien Babarit. Contrôle lent d'un houlomoteur à pendule embarqué par ballastage/déballastage. 13emes Journées de l'Hydrodynamique (JH13), Nov 2012, Chatou, France. hal-01201957

HAL Id: hal-01201957

<https://hal.science/hal-01201957>

Submitted on 18 Sep 2015

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.

**CONTROLE LENT D'UN HOULOMOTEUR A PENDULE
EMBARQUE PAR BALLASTAGE/DEBALLASTAGE**

***SLOW CONTROL OF A WAVE ENERGY DEVICE WITH
EMBARDED PENDULUM BY VARYING WATER
BALLAST***

A.H CLEMENT*, M. LE BAIL, A.BABARIT*

* Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique
École Centrale de Nantes, BP 92101, 44321 NANTES Cedex 3
alain.clement@ec-nantes.fr

Résumé

On étudie ici le gain de productivité apporté par le *contrôle lent* à un système houlomoteur. Ce type de contrôle consiste à adapter certains paramètres du système aux caractéristiques de l'état de mer défini classiquement par sa hauteur de vagues significative et sa période de pic spectral. Puisque les caractéristiques statistiques de l'état de mer évoluent selon des échelles temporelles de l'ordre de l'heure à la journée, on a baptisé cette adaptation : *contrôle lent*. On a pris ici comme exemple le houlomoteur SEAREV en redéfinissant sa forme afin de la rendre plus sensible à ce type de contrôle, mais on aurait pu faire la même étude sur tout autre type de houlomoteur, avec probablement des conclusions analogues.

Summary

This study address the concept of slow control of Wave Energy Converters (WEC) in order to assess the possible gain in productivity. This control consists in varying some parameters of the dynamic system in order to adapt it to the variation of the sea-state defined here, as usual, by the significant height and the spectral peak period of the waves. Because the time scale of the variation of this sea state statistical characteristics is generally of the order of, say, one hour to one day, we call it *slow control*, in opposition to the real time (often named "wave to wave") control which can also be applied to floating type wave absorbers. The SEAREV system, featuring a new shape especially defined for this purpose, is considered here as an example, but the same study could has been conducted on every floating WEC, leading to similar conclusions.

I – Introduction

Le houlomoteur étudié ici se compose essentiellement d'un flotteur clos embarquant une roue capable d'osciller autour d'un axe horizontal solidaire du flotteur, roue dont le centre de gravité est décentré de manière à ce qu'elle adopte, quand le flotteur est mis en mouvement par les vagues, le comportement mécanique d'un pendule excité par les mouvements de son axe.

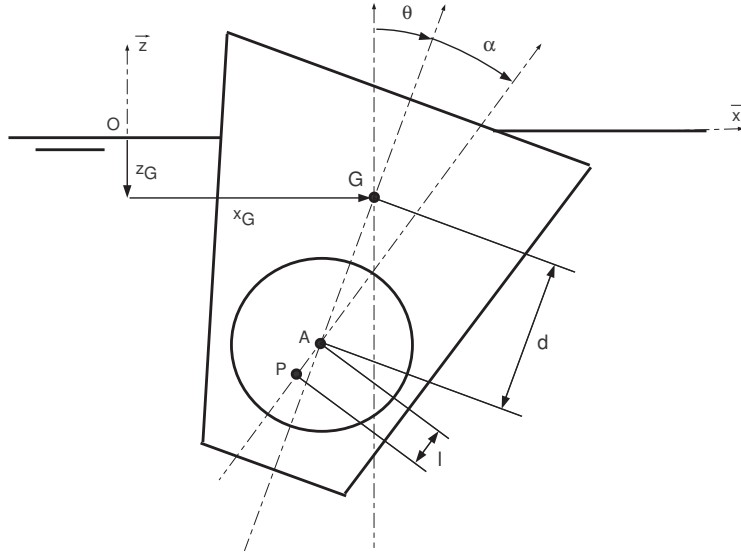


Figure 1 – SEAREV - référentiel et notations

Le système récupérateur d'énergie (ou PTO pour power take off en anglais) est ici une génératrice électrique directe dont le rotor est solidaire de la roue et le stator de la coque ; il fournit un travail résistant entre ces deux corps qui sera modélisé sous la forme d'un couple résistant au mouvement de la roue et proportionnel à la vitesse relative $\dot{\alpha}$.

Ce système, baptisé SEAREV [1][2][3], a fait l'objet de nombreuses études de modélisation [4], puis d'optimisation [6], depuis sa création au LHEEA en 2004. Etant constitué de plusieurs oscillateurs couplés entre eux, ce système possède plusieurs périodes propres qui elles-mêmes découlent des paramètres du flotteur (dimensions, forme, inerties) et de la roue pendulaire (masse, inerties). Comme l'énergie récupérée dépend quadratiquement de la réponse de ces oscillateurs, on comprend qu'on va chercher à maximiser l'amplitude de cette réponse quand le système est en opération dans les vagues. C'est l'objet du contrôle des systèmes houlomoteurs, ou plutôt des contrôles car on peut envisager deux types d'action selon sur deux échelles de temps différentes, selon qu'on travaillera en temps réel, vague après vague (contrôle rapide), ou au rythme des changements d'états de mer (échelles multi-horaire voire journalière).

II – Modélisation du système non contrôlé

L'étude du contrôle lent qui suivra se fondera sur une modélisation simple, en théorie linéarisée et approche fréquentielle. On supposera ici que le système est symétrique par rapport au plan vertical (xOz) , et que la houle incidente se propage selon l'axe Ox . Sous ces hypothèses, dans un train de vagues planes (2D), le houlomoteur oscillera selon les trois degrés de liberté : cavalement (selon \bar{x}), pilonnement (selon \bar{z}) et tangage (autour de \bar{y}).

Soient x_G et z_G les mouvements de cavement et de pilonnement du centre de gravité G du flotteur, θ l'angle de tangage et α l'angle relatif entre la coque et la roue pendulaire (fig.1). Soit m_b la masse du flotteur, I_b son nertie, m_p la masse du pendule, I_y son inertie. Soit $l = AP$ la distance entre le centre de rotation A du pendule et son propre centre de gravité P , $d = \overline{GA}$ la distance entre le CdG du flotteur et celui de la roue pendulaire.

On suppose que la cambrure des vagues incidentes est suffisamment petite pour justifier l'approche linéarisée utilisée ici.

II – 1 Equations de la mécanique

Soit $\mathbf{Z} = (x_G \ z_G \ \theta \ \alpha)^t$ le vecteur des déplacements. Dans le cadre de la théorie linéarisée en approche fréquentielle, l'équation du mouvement exprimant le principe fondamental de la dynamique s'écrit :

$$\left(-(\mathbf{M} + \mathbf{C}_M(\omega))\omega^2 + i\omega\mathbf{C}_A(\omega) + (\mathbf{K} + \mathbf{K}_H) \right) \mathbf{Z} = \mathbf{F}_{ex}(\omega) + \mathbf{F}_{PTO}(\omega) \quad (1)$$

où :

- \mathbf{F}_{ex} est le vecteur du tenseur des forces d'excitations dues aux vagues incidentes et au champ diffracté.
- \mathbf{C}_M est la matrice de masse d'eau ajoutée, \mathbf{C}_A la matrice des coefficients hydrodynamique d'amortissement due a la radiation des vagues par le corps flottant en mouvement. On notera que \mathbf{F}_{ex} , \mathbf{C}_M , et \mathbf{C}_A ne sont fonctions que de la geometrie de la partie mouillée de la carène du flotteur. On exploitera cette propriété pour le contrôle lent étudié ici.
- \mathbf{K}_H est la matrice des efforts de rappel hydrodtatiques
- \mathbf{M} et \mathbf{K} sont respectivement les matrices de masse et d'inertie du système complet ; ces matrices contiennent donc des termes de couplage entre la roue pendulaire et la coque du système. On a :

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_b + m_p & 0 & m_p(d-l) & -m_p l \\ 0 & m_b + m_p & 0 & 0 \\ m_p(d-l) & 0 & I_b + I_y + m_p(d-l)^2 & I_y + m_p l^2 - m_p d l \\ -m_p l & 0 & I_y + m_p l^2 - m_p d l & I_y + m_p l^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} k_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -m_p g(d-l) & m_p g l \\ 0 & 0 & m_p g l & m_p g l \end{pmatrix} \quad (3)$$

- \mathbf{F}_{PTO} représente le vecteur des efforts exercés par le PTO sur le flotteur. Dans cette étude on a considéré un modèle mécanique de PTO de type frottement visqueux, proportionnel à la vitesse (relative) du pendule soit $-B_{PTO}\dot{\alpha}$. L'effort correspondant s'écrit donc sous forme matricielle $\mathbf{F}_{PTO} = -i\omega\mathbf{B}\mathbf{Z}$, avec :

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_{PTO} \end{pmatrix} \quad (4)$$

II – 2 Calcul de la production pour une fréquence de houle

Une fois donnée la forme de la partie immergée du flotteur on calcule les matrices \mathbf{F}_{ex} , \mathbf{C}_M , et \mathbf{C}_A pour une fréquence donnée ω de la houle incidente en utilisant un logiciel dédié de tenue à la mer comme par exemple AQUAPLUS ou WAMIT. Ensuite, pour un jeu des paramètres $(m_b, I_b, m_p, I_y, d, l, B_{PTO})$ décrivant entièrement le système on peut assembler et résoudre le système (1) pour les variables x_G, z_G, θ, α en amplitude et phase. La puissance instantanée récupérée par le PTO sera égale au produit couple.vitesse. Dans le cadre du régime harmonique, la puissance moyenne sera donc simplement donnée par

$$\hat{p}(1, \omega) = \frac{1}{2} B_{PTO} |\omega \alpha(\omega)|^2 \quad (5)$$

La théorie linéarisée nous permet de résoudre le problème pour une amplitude de houle a unité, et de pouvoir avoir accès directement à la puissance récupérée pour une houle d'amplitude a par

$$\hat{p}(a, \omega) = a^2 \hat{p}(1, \omega) \quad (6)$$

II – 3 Calcul de la production pour un état de mer

On considère maintenant une houle incidente irrégulière de hauteur significative H_s et de période de pic T_p ($= 1/f_p$) caractérisée par sa densité spectrale d'énergie (ici de type ISSC)

$$S(f) = \frac{5}{16} H_s^2 \frac{f_p^4}{f^5} e^{-\frac{5}{4} \frac{f_p^4}{f^4}} \quad (7)$$

Après discrétisation de ce spectre en bandes de largeurs Δf ($= \Delta(\omega)/2\pi$), l'état de mer irrégulier sera considéré comme la superposition de N_ω houles régulières d'amplitude $a_i = \sqrt{2S(f_i)\Delta f}$ et de pulsation $\omega_i = 2\pi f_i$.

Ainsi, dans un état de mer irrégulière, chaque bande de fréquence (a_i, ω_i) contribuera à la puissance moyenne totale selon (6), et pour l'ensemble, la puissance moyenne récupérée par les N_ω bandes discrétisant le spectre défini par (H_s, T_p) par

$$\hat{P}(H_s, T_p) = \sum_{i=1}^{N_\omega} a_i^2 \hat{p}(1, \omega_i) \quad (8)$$

Ainsi, pour une forme donnée du flotteur, et un jeu de paramètres mécaniques fixés (matrices masses, inerties, coefficients PTO, etc..) on définit une fonction de puissance en menant ce même calcul pour l'ensemble des états de mer possibles (H_s, T_p) . Pratiquement on discrétise l'espace de ces deux variables (H_s, T_p) en un set (H_i, T_j) et l'on dresse pour la machine étudiée une matrice de production (fig.2).

Utilisant cette représentation spectrale de l'état de mer, on fait ici implicitement l'hypothèse que les caractéristiques statistiques de l'état de mer sont stationnaires pour chaque case (H_i, T_j) de la matrice, ce qui dans la pratique se vérifie sur des durées de l'ordre de une à trois heures.

II – 4 Production annuelle sur un site

On caractérise le climat de houle sur un site par la donnée de la fonction bivariée de probabilité d'occurrence d'un état de mer (H_s, T_p) . Cette fonction est généralement établie à partir de données de vagues recueillies par des bouées de mesure pendant plusieurs années, soit par reconstitution numérique (*hindcast*) de la production de vagues à partir

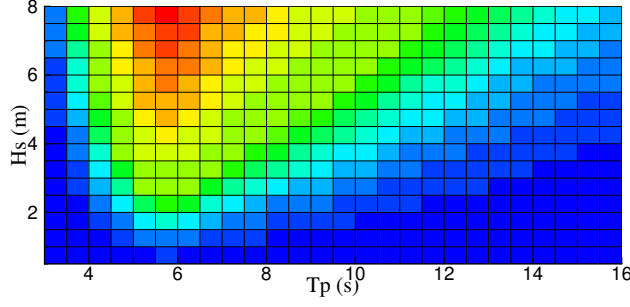


Figure 2 – matrice de production typique SEAREV G4

de données de vent qui sont stockées dans des bases de données météo depuis plusieurs décennies [8].

Si on se ramène à la même discrétisation (H_i, T_j) que précédemment pour les deux variables, et en multipliant la probabilité par le nombre d'heure dans une année (soit 8766), on établit une matrice donnant le nombre d'heure probable $N(H_i, T_j)$ de l'état de mer (H_i, T_j) sur le site. Cette matrice est dénommée *scatter diagram* en anglais. Sur la figure (3) on a figuré le scatter diagram pour une bouée au large de l'île d'Ouessant, d'après les données de la base de données nationale CANDHIS [9]. On voit que sur ce site, la période de pic dominante se situe $7s < T_p < 8s$, et que la hauteur significative correspondante est centrée sur $1,5m < H_s < 2,0m$. Par ailleurs comme on le sait, la physique vient limiter par le déferlement l'amplitude des vagues pour une fréquence de pic donnée. Nous avons donc rapporté sur la figure une ligne (rose) illustrant cette limite.

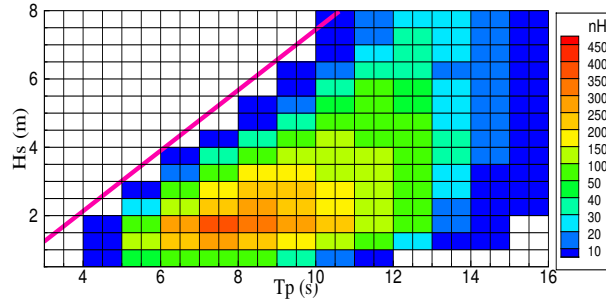


Figure 3 – scatter diagram pour l'île d'Ouessant (en nombre d'heures /an)

Finalement, l'énergie produite annuellement \hat{E} sur le site ainsi caractérisé s'obtient directement par le produit terme à terme de la matrice de production de la machine donnée avec la matrice du scatter diagram, soit

$$\hat{E} = \sum_i \sum_j N(H_i, T_j) \hat{P}(H_i, T_j) \quad (9)$$

On notera que cette procédure habituelle pour l'estimation annuelle de la production d'une génératrice houlomotrice sur un site donnée repose sur des hypothèses très simplificatrices comme : linéarité du modèle de la machine, nature monodirectionnelle de la houle, forme analytique simple du spectre de houle, etc... A cause de cela, les résultats de l'étude devront être considérés à titre relatif plutôt qu'absolu.

III – Contrôle des houlomoteurs : deux échelles de temps

S’agissant des génératrices récupérant les énergies marines, le mot contrôle peut avoir plusieurs sens et nous devons préciser que nous excluons ici les acceptions de ce mot relatives à la sécurité des machines, à leur maintenance, etc.. pour ne considérer que le contrôle dont le but est d’en augmenter la production d’énergie.

III – 1 Contrôle rapide

Le contrôle rapide, en temps réel, du système vise à adapter en permanence le couple résistant fourni par l’ensemble récupérateur d’énergie (PTO), ou de lui adjoindre un couple additionnel commandable en temps réel, afin de maintenir la réponse de la roue pendulaire au plus près de la résonance, malgré l’évolution rapide (vague après vague) de la fréquence apparente des efforts d’excitation dus aux vagues. De nombreuses méthodes de contrôle rapide, continu ou discret, ont été étudiées ces dernières années. Les résultats du contrôle discret sur le système SEAREV utilisé ici ont été publiés dans [4] et [5]. On trouvera une étude générale récapitulative et comparative assez complète des modes de contrôle rapide dans [7].

III – 2 Contrôle lent

On a résumé au § II-3 une méthode permettant d’établir la matrice de production d’une machine houlomotrice (fig.2), à partir de sa forme immergée au repos (sa carène), et des paramètres géométriques et dynamiques la décrivant. On a considéré, pour faire le calcul de production annuelle, que cette matrice de production ne variait pas tout au long de l’année simulée, en un mot que la machine ne changeait pas quand on changeait d’état de mer.

Imaginons maintenant qu’on se donne un moyen de changer certains paramètres mécaniques de la machine, voire sa forme de carène, au rythme de l’évolution de l’état de mer (H_s, T_p) sur le site. On va ainsi modifier les caractéristiques de sa réponse dynamique à l’excitation des vagues en modifiant les matrices de masse d’eau ajoutée, d’amortissement, d’inertie, de raideur hydrostatique, etc., et donc obtenir pour chaque jeu de paramètres, une nouvelle matrice de production ; un peu comme si on avait une nouvelle machine adaptable à chaque état de mer. Comme l’échelle de temps du changement des caractéristiques statistiques sur un site est de l’ordre de plusieurs heures, on comprend la dénomination de contrôle lent, en opposition au contrôle rapide, en temps réel, évoqué plus haut.

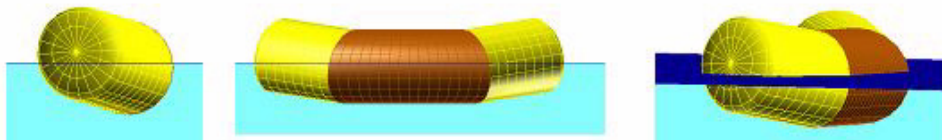


Figure 4 – forme G4 du flotteur SEAREV adaptée au contrôle lent

Dans le travail présenté ici, nous avons décidé de jouer uniquement sur la position et les inerties du flotteur, ainsi que sur la forme de sa carène. Pour ce faire, nous avons défini une nouvelle forme, dite G4, du flotteur SEAREV, dotée d’un système de ballastage compartimenté dans les extrémités jaunes sur la figure fig.4, le système de roue pendulaire et le PTO de type électrique direct étant logé dans la partie centrale (marron). Cette nouvelle forme a été définie pour que la forme de la partie mouillée vue par le champ

de vagues évolue très sensiblement en fonction des cas de ballastage. Ainsi, avec une variation importante des coefficients hydrodynamiques, des matrices de masse et d'inertie du flotteur, on peut s'attendre à des variations importantes de la réponse dynamique du flotteur, et par là même une bonne adaptabilité.

Avec un compartimentage en quatre ballasts de chaque partie latérale (jaune), après

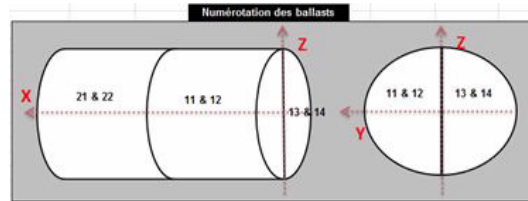
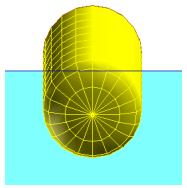
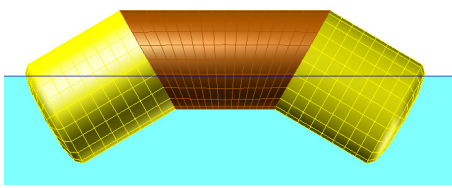
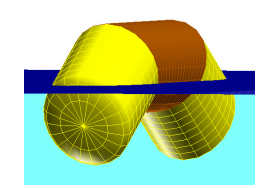
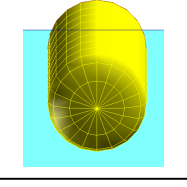
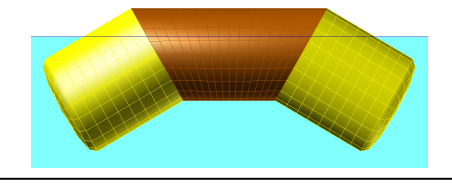
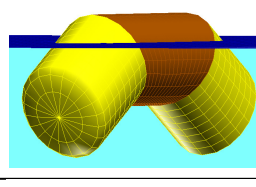
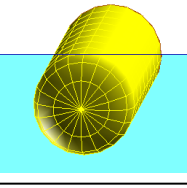
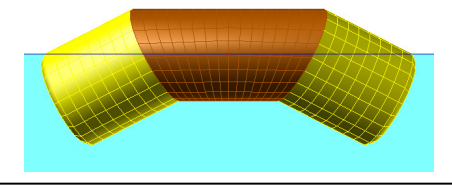
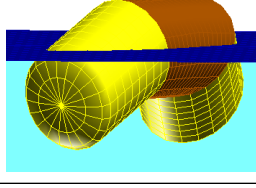
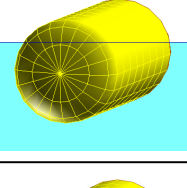
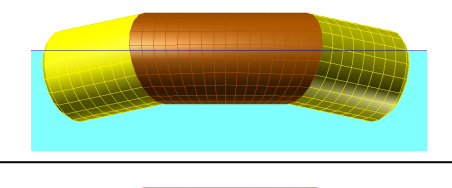
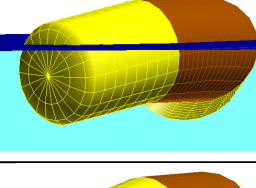
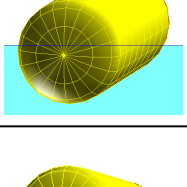
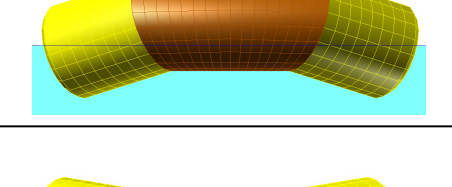
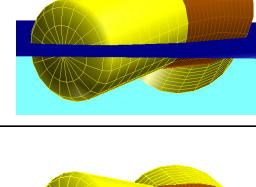
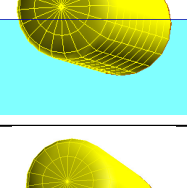
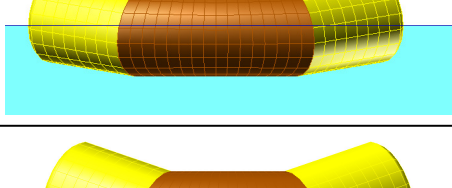
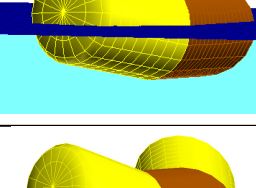

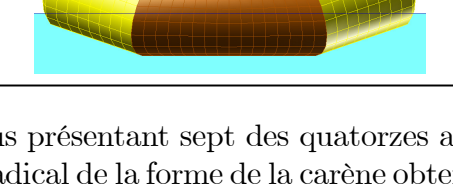
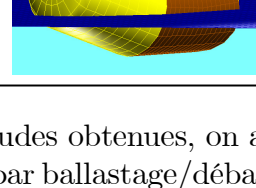


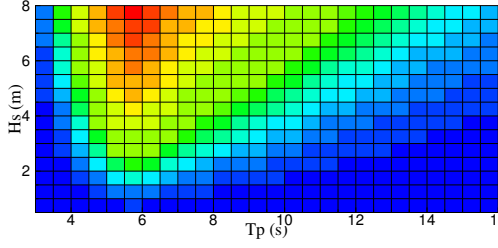
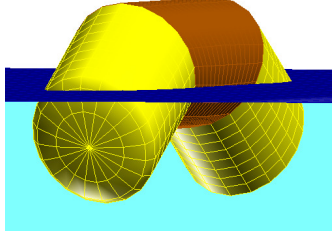
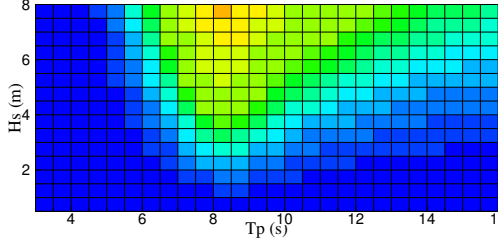
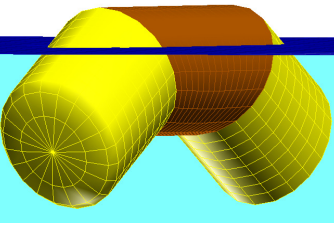
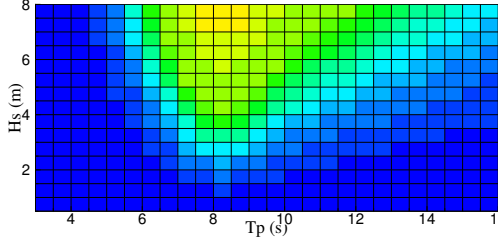
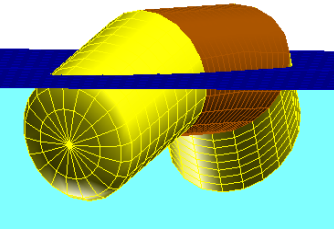
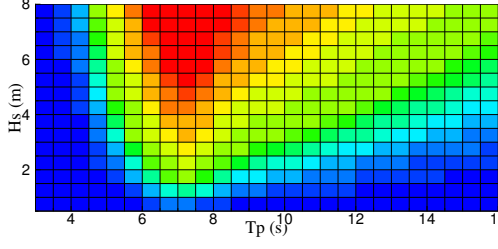
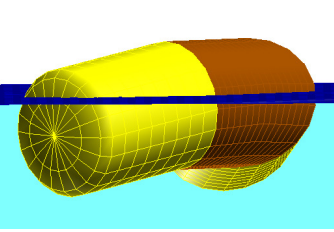
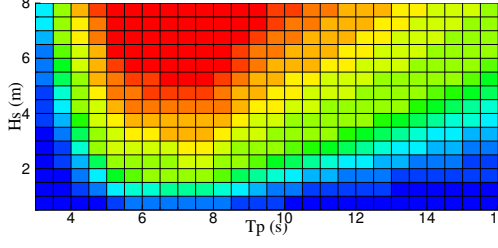
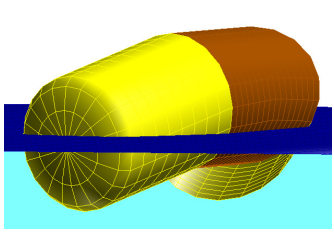
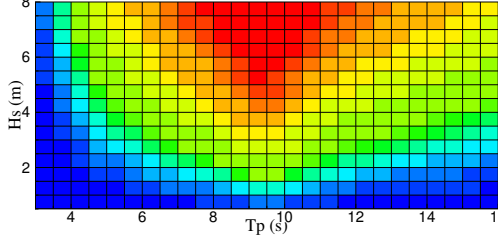
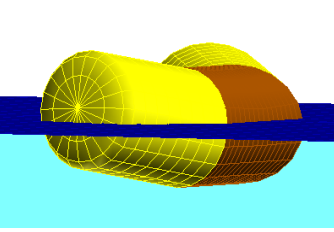
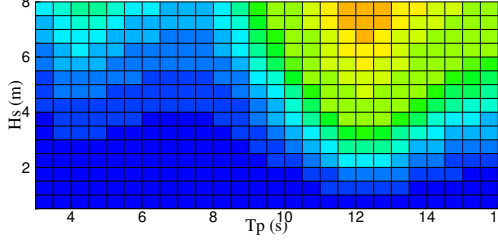
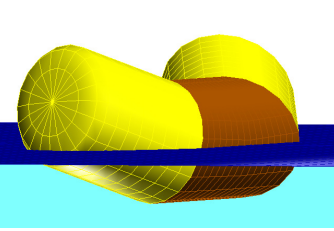
Figure 5 – fractionnement des ballast latéraux

élimination des cas instables, on obtient finalement 14 positions d'équilibre de la machine, pour chacune desquelles on a calculé la matrice de puissance par la méthode décrite plus haut, (i.e approche fréquentielle linéaire, sans contrôle rapide). On ne représentera dans la suite que sept des quatorze cas traités, les autres étant symétriques par rapport à (yOz) correspondant à une houle se propageant en sens inverse le l'axe \vec{Ox} .

| | ATTITUDES obtenues pour les 7 différents ballastages | | |
|-----|---|--|---|
| B3 |  |  |  |
| B7 |  |  |  |
| B6 |  |  |  |
| B5 |  |  |  |
| B9 |  |  |  |
| B1 |  |  |  |
| B10 |  |  |  |

Dans le tableau ci-dessus présentant sept des quatorze attitudes obtenues, on appréhende bien le changement radical de la forme de la carène obtenu par ballastage/déballastage, en comparant par exemple les cas B7 et B10.

Le résultat de ces différents calculs en terme de production est illustré dans le tableau suivant où les matrices de production sont représentées pour ces sept cas.

| # | Matrice de production | Attitude |
|-----|---|--|
| B3 |  |  |
| B7 |  |  |
| B6 |  |  |
| B5 |  |  |
| B9 |  |  |
| B1 |  |  |
| B10 |  |  |

Attention, il convient de se rappeler que la partie supérieure gauche de ces matrices de production n'a pas de sens physique au delà de la limite d'existence des états de mer symbolisée par la ligne rose sur la figure (3). C'est la modélisation en théorie fréquentielle linéarisée qui a permis d'établir ces valeurs situées hors du domaine physique utile.

III – 3 Matrice de production composite

Une fois déterminées les matrices de chacun des 14 cas de ballastages possible, on peut définir une matrice de puissance composite en retenant pour chaque (H_i, T_j) le meilleur des réglages possibles.

La figure (6) montre la matrice composite optimale pour le SEAREV G4 obtenue avec les cas rapportés ici.

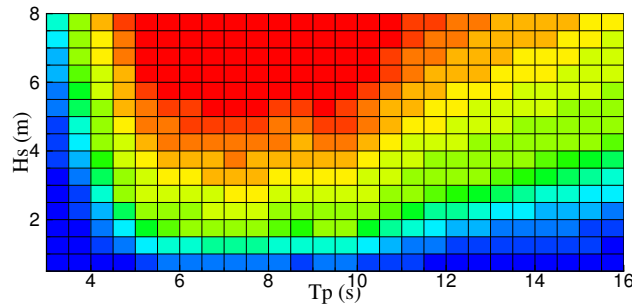


Figure 6 – matrice de puissance composite du SEAREV G4

Ainsi, on pourra dans la pratique exploiter une telle houlomotrice en adaptant l'attitude de la machine par ballastage ou déballastage, en pilotant à distance les pompes embarquées au gré des changements d'état de mer, donc sur une périodicité de l'ordre de la demi journée. La machine étant de toutes façons ballastée pour être mise "dans ses lignes" une fois sur le site de production, ces pompes de ballastage existent par construction et ne représentent donc pas un surcoût.

On ne retient pour cela que les quatre attitudes les plus productives (B1, B9, B5, B10) réparties en fonction de la période de pic de l'état de mer comme illustré sur la figure (7).

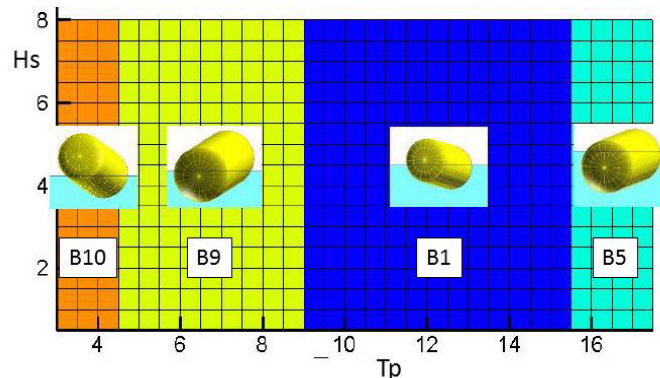


Figure 7 – les quatre attitudes retenues en fonction de la période de pic spectral.

On aura compris que les délimitations verticales sur cette figure sont dues à l'approche linéarisée de la modélisation qui ramène tous les résultats ceux obtenus avec l'amplitude unitaire $A = 1m$. Pour une application plus opérationnelle du concept de contrôle lent, il conviendrait d'établir la matrice de production composite (fig.6) et la table des attitudes

correspondantes (fig.7) sur la base d'une modélisation non-linéaire du comportement de SEAREV, en utilisant par exemple les approches numériques décrites dans [10] et [11].

III – 4 Exemple de production optimisée par contrôle lent

Sur un site de production de bon niveau de ressource (Ouessant – 40 kW/m), nous avons comparé les résultats obtenus avec ce SEAREV G4 sans contrôle en appliquant les matrices des attitudes B1 à B10, ou avec contrôle lent par ballastage adapté à l'état de mer en utilisant la matrice composite (fig.6). Dans le tableau ci-dessous, on a calculé en colonne 2 la puissance moyenne obtenue pour chaque configuration rapportée à la puissance d'une matrice de production moyenne de B1 à B10. L'écart ici, qui s'étend de 33,1% à 216,1% montre la sensibilité de la forme de carène choisie au contrôle lent par ballastage/déballastage.

| | P/P_Bmean % | P/P_Bmax % |
|-----------|-------------|------------|
| B6 | 33.1 | 15.3 |
| B3 | 37.3 | 17.3 |
| B7 | 38.6 | 17.9 |
| B10 | 63.5 | 29.4 |
| B5 | 129.4 | 59.9 |
| B9 | 182.0 | 84.2 |
| B1 | 216.1 | 100.0 |
| | | |
| Composite | 256.1 | 118.5 |

Dans la colonne 3 on a reporté le calcul de la puissance dans chaque configuration rapportée à la puissance de la meilleure configuration statique, ici B1. Cela nous permet d'apprécier l'apport du contrôle lent par ballastage/déballastage par rapport à la même machine non contrôlée, puisque la machine contrôlée donne sur ce site 18,5% de mieux en puissance moyenne annuelle que la meilleure des configuration statiques.

On voit que le gain apporté par le contrôle lent peut être substantiel, pour un coût très faible, dès lors qu'on aura intégré cette possibilité assez tôt dans le design du système. Ici, et puisqu'on joue sur l'attitude de la machine à l'équilibre, c'est la définition de la forme générale de la carène du WEC qui doit tenir compte de cette possibilité de contrôle. Dès lors, avec une seule machine monotype mais en fractionnant les ballasts, on dispose au moment de l'exploitation de l'équivalent de plusieurs machines différentes. Les futurs fermes houlomotrices étant composées de dizaines de machines, on aura ainsi la possibilité d'"accorder" le parc de machines à l'état de mer du jour, ou bien encore d'accorder différemment les machines d'un même parc pour augmenter la bande passante de l'ensemble.

IV – Conclusion

Dans cette étude on a appliqué le principe du contrôle lent au houlomoteur SEAREV. On aura compris que le principe qui consiste à modifier au gré des changements d'état de mer des paramètres de l'équation dynamique du système s'appliquera pratiquement à tout système houlomoteur, dès lors qu'on pourra faire varier aisément ce ou ces paramètres avec la technologie retenue.

Si le WEC a été conçu dès le départ, dans son principe et dans son design, pour intégrer cette fonctionnalité, le gain peut être important, soit de l'ordre de 20% dans l'exemple rapporté ici.

Dans l'étude présentée ici on n'a volontairement pas cherché à appliquer un contrôle rapide pour optimiser encore la production, mais ces deux types de contrôle n'étant pas exclusifs, on pourra les combiner dans la réalité afin d'en cumuler les bénéfices en terme de production.

Références

- [1] A.Babarit, A.H. Clément, G. Duclos, J.C. Gilloteaux. Anatomie d'un système récupérateur d'énergie des vagues de seconde génération. *Proc. 10èmes Journées de l'Hydrodynamique*, Nantes, 2005.
- [2] A.Babarit, A.H. Clément, J. Ruer, C. Tartivel. SEAREV. A fully integrated wave energy converter. *Proc. OWEMES Conference*, Civitavecchia. 2006.
- [3] A.Babarit, A.H. Clément, J.C. Gilloteaux : SEAREV - A Second Generation Wave Energy Converter. In *Proc. World Renewable Energy Congress WREC 2005*, (Aberdeen - Scotland), Imbadi & Mitchell Eds, Elsevier Ltd, pp.939-944. 2005.
- [4] A. Babarit : Optimisation hydrodynamique et contrôle optimal d'un récupérateur d'énergie des vagues . thèse Ecole Centrale de Nantes, 2005.
- [5] A.Babarit, A.H. Clément : Optimal latching control of a wave energy device in regular and irregular waves. *Applied Ocean Research* (28), 2006.
- [6] A.Babarit, A.H. Clément, J.C. Gilloteaux : Optimisation and Time-domain Simulation of the SEAREV wave energy converter, CD-ROM *Proc. OMAE Conference*, Halkidiki (Grèce), paper # 67286, 2005.
- [7] Modelling and phase control of wave-energy converters. *thèse NTNU - Trondheim*. 2009.
- [8] G. Mattarolo, F. Lafon, M. Benoit : Wave energy resource off the French coasts : the ANEMOC database applied to the energy yield evaluation of Wave Energy Converters. *Proc. 8th European Wave and Tidal Energy Conference EWTEC*.
- [9] cf site web : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/> .
- [10] J.C. Gilloteaux : *Mouvements de grande amplitude d'un corps flottant en fluide parfait. -Application à la récupération de l'énergie des vagues*. Thèse Ecole Centrale de Nantes, 2006.
- [11] J.C. Gilloteaux, A Babarit, G. Ducrozet, M. Durand, AH. Clément : Non-linear potential model to predict large amplitude motions : application to the SEAREV wave energy converter. Paper 29308 in CDROM *Proceedings OMAE2007 Conference*. San Diego (USA), 2007.