

Influence du rendement sur l'absorption d'énergie d'un houlomoteur à un degré de liberté sous contrôle réactif

Romain Genest, Félicien Bonnefoy, Alain H. Clément, Aurélien Babarit

▶ **To cite this version:**

Romain Genest, Félicien Bonnefoy, Alain H. Clément, Aurélien Babarit. Influence du rendement sur l'absorption d'énergie d'un houlomoteur à un degré de liberté sous contrôle réactif. 13es Journées de l'Hydrodynamique (JH13), Nov 2012, Chatou, France. hal-01201952

HAL Id: hal-01201952
https://hal.science/hal-01201952

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.

13èmes Journées de l'Hydrodynamique
21 - 23 novembre 2012
Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant
Ile des Impressionnistes,
Chatou (78), France

INFLUENCE DU RENDEMENT SUR L'ABSORPTION D'ENERGIE D'UN HOULOMOTEUR A UN DEGRE DE LIBERTE SOUS CONTROLE REACTIF.

INFLUENCE OF THE EFFICIENCY ON THE ENERGY ABSORPTION OF A REACTIVELY CONTROLLED ONE DEGREE OF FREEDOM WAVE ENERGY CONVERTER.

R.GENEST*, F.BONNEFOY*, A.H.CLEMENT*, A.BABARIT*

* L'UNAM Université, École Centrale de Nantes, Laboratoire d'Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique, Equipe Energies Marines et Océan.
École Centrale de Nantes, 1 Rue de la Noe, 44321 NANTES Cedex 3
romain.genest@ec-nantes.fr

Résumé

L'importance de la prise en compte du rendement pour un houlomoteur sous contrôle réactif est mise en lumière dans cette étude. Le contrôle réactif consiste à amenner le système en résonance en annulant les termes de raideur et de masse, ou termes réactifs, dans l'équation du mouvement du flotteur. L'influence du rendement de conversion d'énergie peut être décisive quant au choix d'un contrôle pour un système houlomoteur lors de sa conception. Dans le but de réduire cette chute de production énergétique, une voie d'investigation consiste à diminuer la part réactive de la force de contrôle en la multipliant par un facteur $\kappa < 1$. Cela aura pour effet de dégrader la qualité du contrôle, mais minimisera les pertes essentiellement dues aux parties réactives. Ainsi, il existe une fraction réactive optimale adaptée aux caractéristiques réelles de l'actionneur.

Summary

The aim of this study is to understand in wich way a non-ideal reactive actuator can decrease drasticly the WEC efficiency. Reactive control consists in cancelling the stiffness and mass terms, or reactive terms, in the equation of motion of the buoy in order to bring the system into resonance. In order to avoid this phenomenon, the proposed solution consists in reducing the reactive force by choosing a fraction factor $\kappa < 1$. This will on the one hand reduce the control quality, but on the other hand minimize the reactive control losses. Thus, there exists an optimal fraction adapted to the actual actuator characteristics.

I – Introduction

La dernière décennie a vu se développer un grand nombre de contrôles pour houlomoteurs dans le but d'accroître l'énergie absorbée de la houle incidente [9]. Model Predictive Control [5], Latching [1], Declutching [3], Phase and amplitude control [4] et contrôle réactif [11] sont autant de stratégies et d'approches différentes du contrôle. Le contrôle réactif consiste à amener le système en résonance, en annulant les termes de masse et de raideur, ou termes réactifs, dans l'équation du mouvement du flotteur. La vitesse de pilonnement d'un système ainsi controllé est en phase avec la force d'excitation et l'énergie absorbée est alors théoriquement maximale en houle régulière.
Des études théoriques ont permis de quantifier le gain énergétique du contrôle réactif [10]. Des études plus récentes traitent de problématiques d'ordre plus technologique, comme la prise en compte de rendement de conversion énergétique [13], l'influence de constante de temps sur l'efficacité des houlomoteurs [2], ou la prise en compte de l'aspect technologique d'un moteur linéaire [12], et donnent une bonne estimation des contraintes technologiques et des impacts énergétiques sur la qualité du contrôle.
Un contrôle "partiel" réactif peut constituer une approche intéressante lorsqu'un système non idéal est simulé [13]. Une recherche approfondie sur ce type de contrôle est ici réalisée et montre notamment la dépendance des caractéristiques optimales du système à la fraction de force réactive impliquée dans la réalisation du contrôle. Un rendement de conversion énergétique simplifié, supposé constant, variant dans une gamme réaliste est ainsi pris en compte. Son impact est quantifié en houle régulière, mais également en houle irrégulière pour différentes valeurs de période de pic.

II – Mise en équation

II – 1 Equation du mouvement

Le fluide est supposé incompressible, non visqueux et l'écoulement irrotationnel. L'amplitude des mouvements et de la houle est considérée comme suffisamment faible pour utiliser la théorie potentielle linéarisée. Ainsi, l'équation du mouvement pour un récupérateur de l'énergie des vagues restreint à un mouvement unique de pilonnement, s'écrit comme suit

$$(M + \mu_\infty)\ddot{X} + \int_0^t K(t-\tau)\dot{X}(\tau)d\tau + K_H X = F_{ex} + F_{PTO} + F_{controle} \tag{1}$$

avec

- X, $\dot{X}$, $\ddot{X}$ sont respectivement la position, la vitesse et l'accélération du flotteur en pilonement.
- M est la masse du système.
- $-\mu_\infty\ddot{X} - \int_0^t K(t-\tau)\dot{X}(\tau)d\tau$ correpond aux efforts de radiation. μ_∞ est la masse ajoutée et K est la réponse impulsionnelle de radiation en pilonnement de la bouée cylindrique. Selon la décomposition de Cummins [6], ce terme représente l'effet d'une vague rayonnée par le corps flottant suite à une impulsion de vitesse à l'intant $t = 0$. Il est possible d'approximer cette fonction par une somme d'exponentielles complexes tels que $K \approx \sum_{j=1}^{N} \alpha_j e^{i\beta_j t}$. Les coefficients (α_j, β_j) sont obtenus en utilisant la méthode de Prony [8]. Ainsi, le produit de convolution est remplacé par une somme de N termes complexes de radiation $\int_0^t K(t-\tau)\dot{X}(\tau)d\tau = \sum_{j=1}^{N} I_j$ avec pour chaque I_j une équation différentielle du premier ordre associée : $\dot{I}_j = \beta_j I_j + \alpha_j \dot{X}$. Plus d'explication sur la méthode peuvent être trouvé dans [1].
- K_H est la raideur hydrostatique du système.

- F_{ex} est la force d'excitation agissant sur le flotteur. Elle est reliée au spectre de la houle incidente $S(f)$ par la relation $F_{ex}(t) = \Re(\sum_j \sqrt{2S(f_j)\Delta f}\tilde{F}_{ex}(f_j)e^{-i(2\pi f_j t+\Phi_j)})$ dans laquelle Δf est un pas de fréquence adéquat, Φ_j sont un vecteur de phases aléatoires et $\tilde{F}_{ex}$ est le vecteur complexe des efforts d'excitation normalisés par l'amplitude de houle dans le domaine des fréquences.
- F_{PTO} est la force générée par le "Power Take-Off", récupérateur d'énergie. Dans cette étude son comportement est assimilé à un amortissement linéaire, i.e. simplement proportionnel à la vitesse de pilonnement du flotteur, $F_{PTO} = -B_{PTO}\dot{X}$.
- $F_{controle}$ est une force particulière de contrôle définie dans la section suivante.

Dans cette étude, la fonction de radiation K, les coefficients $\tilde{F}_{ex}$ et μ_∞ sont déterminés en utilisant le code Aquaplus [7] basé sur une méthode des éléments de frontière.
La puissance absorbée à chaque instant est donnée par

$$P_{PTO} = -F_{PTO}V = B_{PTO}V^2$$

où $V = \dot{X}$. L'équation du mouvement (1) s'écrit dans le domaine fréquentiel

$$\left[\frac{iK_H}{\omega} + B(\omega) - i\omega(M + A(\omega))\right]\tilde{V}(\omega) = \tilde{F}_{ex} + \tilde{F}_{PTO} + \tilde{F}_{controle} \tag{2}$$

Où le signe ˜ correspond à l'opérateur transformée de Fourier. A and B sont les coefficients de radiation dans le domaine fréquentiel.
En houle régulière, la moyenne temporelle de la puissance absorbée par le PTO est donnée par

$$\bar{P}_{PTO} = \frac{1}{2}B_{PTO}|\tilde{V}|^2$$

II – 2 Contrôle réactif sub-optimal

Pour un récupérateur d'énergie de la houle axisymétrique en pilonnement, il est bien connu qu'il existe un maximum atteignable de puissance absorbée [10]. Cette puissance maximale est égale au flux d'énergie J divisé par le nombre d'onde k en houle régulière.

$$P_{max} = \frac{J}{k}$$

Ce résultat est obtenu si la vitesse du flotteur est en phase avec la force d'excitation, et si le coefficient d'amortissement du PTO est égal au coefficient d'amortissement de radiation. La première condition est naturellement obtenue quand le système est en résonance. Lorsque ce n'est pas le cas, les termes "réactifs" (masse et raideur) dans l'équation du mouvement (1) deviennent prédominants et la puissance absorbée chute drastiquement comparée au maximum théorique.
Dans l'optique de pallier cet inconvénient, il est possible d'introduire un terme de force de contrôle $F_{controle}$ destiné à annuler les termes réactifs dans l'équation du mouvement, amenant ainsi le système proche de la résonance. Dans cette étude, ce terme est défini comme suit

$$F_{controle} = \kappa\left((M + A(\omega_0))\ddot{X} + K_H X\right) \tag{3}$$

avec ω_0 la pulsation de résonance naturelle du système. κ est un coefficient prenant ses valeurs entre 0 et 1. Si $\kappa = 0$, la force de contrôle est nulle, alors que si $\kappa = 1$, la masse et raideur du système sont totalement annulées dans l'équation (1). En prenant en compte la force de contrôle dans l'équation du mouvement, on obtient dans le domaine fréquentiel,

$$\left[B(\omega) + B_{PTO} + i\left(\frac{K_H(1-\kappa)}{\omega} - \omega(M(1-\kappa) + A(\omega) - \kappa A(\omega_0))\right)\right]\tilde{V}(\omega) = \tilde{F}_{ex}$$

Dans le domaine temporel,

$$(M + \mu_\infty - \kappa(M + A(\omega_0)))\,\ddot{X} + \int_0^t K(t-\tau)\dot{X}(\tau)d\tau + B_{PTO}\dot{X} + (1-\kappa)K_H X = F_{ex}$$

II – 3 Puissance de contrôle et puissance réseau pour un système idéal

Considérons le flux d'énergie circulant dans le système de contrôle. La puissance instantanée que le contrôle doit délivrer au flotteur est donnée par

$$P_{controle} = \kappa\left((M + A(\omega_0))\ddot{X} + K_H X\right)\dot{X}$$

On définit la puissance fournie au réseau P_{reseau} au point de connection du récupérateur d'énergie et du réseau électrique. Cette puissance est égale à la puissance absorbée par le PTO moins la puissance que le contrôle délivre au flotteur

$$P_{reseau} = P_{PTO} - P_{controle}$$

Sur un cycle complet, la puissance instantanée de contrôle $P_{controle}$ n'est pas constante. Elle est positive pour certaines parties de cycle et négative pour d'autres. Lorsqu'elle est positive, cela signifie que le système de contrôle prélève de l'énergie du réseau pour la convertir en énergie mécanique en mettant en mouvement la bouée pilonnante. En supposant que le système de contrôle ne génère aucune perte de conversion d'énergie, l'énergie investie est totalement récupérée durant l'autre partie du cycle. Par conséquent, la moyenne temporelle de la puissance de contrôle $\bar{P}_{controle}$ est nulle. Ainsi, avec un système houlomoteur idéal, la moyenne temporelle de la puissance au réseau est égale à la moyenne de la puissance absorbée par le PTO.

II – 4 Puissance de contrôle et puissance réseau pour un système non-idéal

Si le système de contrôle est non-idéal, il est nécessaire d'évaluer ses pertes énergétiques. Lorsque le flux d'énergie va du réseau au flotteur, cela signifie que la puissance prélevée au niveau du réseau sera supérieure à la puissance mécanique fournie au flotteur. A l'inverse, lorsque le flux d'énergie va dans l'autre direction, la puissance au niveau du réseau sera plus faible que la puissance mécanique absorbée par le récupérateur. Mathématiquement, on écrit

$$P_{reseau} = \eta_3 P_{PTO} - \begin{cases} 1/\eta_1 P_{controle} & \text{si } P_{controle} \geq 0 \\ \eta_2 P_{controle} & \text{si } P_{controle} < 0 \end{cases} \tag{4}$$

avec

- $\eta_1 \in [0,1]$ rendement du système de contrôle lorsqu'il fournit de l'énergie au flotteur.
- $\eta_2 \in [0,1]$ rendement du système de contrôle lorsqu'il récupère de l'énergie du flotteur.
- $\eta_3 \in [0,1]$ rendement du convertisseur (PTO).

III – Houle régulière

En houle régulière, on montre que la puissance de contrôle oscille à une fréquence double de celle de la force d'excitation de la houle incidente ; elle s'écrit en effet

$$P_{controle}(t) = \frac{\kappa\epsilon_0|\tilde{V}|^2}{2}\sin(2\omega t + 2\Phi) \tag{5}$$

avec

$$\epsilon_0 = K_H/\omega - \omega(M + A(\omega_0)) \quad (6)$$
$$\tilde{V} = |\tilde{V}|e^{i\Phi} \quad (7)$$

Le terme ϵ_0 correspond à l'amplitude des termes réactifs. A la résonance, il s'annule comme attendu (la puissance de contrôle s'annule).
On considère la moyenne temporelle de la puissance au résau

$$\bar{P}_{reseau} = \frac{1}{T}\int_0^T P_{reseau}(t)dt \quad (8)$$

En utilisant l'équation (4) et en considérant le signe de $\epsilon_0 \sin(2\omega t + 2\Phi)$ dans l'expression de la puissance de contrôle (5), on montre que :

$$\bar{P}_{reseau} = \eta_3 \bar{P}_{PTO} - \frac{|\kappa||\epsilon_0||\tilde{V}|^2}{2\pi}\left(\frac{1}{\eta_1} - \eta_2\right) \quad (9)$$

Ainsi, l'expression de la puissance moyenne au réseau s'écrit

$$\bar{P}_{reseau} = \bar{P}_{PTO}\left(\eta_3 - \frac{|\kappa||\epsilon_0|\lambda}{B_{PTO}}\right) \quad (10)$$

avec,

$$\bar{P}_{PTO} = \frac{1}{2}B_{PTO}|\tilde{V}|^2 \quad (11)$$
$$\lambda = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{\eta_1} - \eta_2\right) \quad (12)$$

Explicitement et à travers le terme $\tilde{V}$, la puissance réseau dépend du paramètre B_{PTO}. Il est donc utile de déterminer quelle est la valeur B_{PTO}^{opt} qui maximise la puissance moyenne au réseau $\bar{P}_{reseau}$. On explicite alors le terme $\tilde{V}$ à l'aide de l'équation (2) que l'on remplace dans (10). En différenciant l'expression obtenue par rapport à B_{PTO}, on détermine sa valeur optimale :

$$B_{PTO}^{opt} = \frac{\lambda|\epsilon_0||\kappa|}{\eta_3} + \sqrt{\left(B + \frac{\lambda|\epsilon_0|\kappa}{\eta_3}\right)^2 + (\epsilon - \kappa\epsilon_0)^2} \quad (13)$$

avec,

$$\epsilon = K_H/\omega - \omega(M + A(\omega))$$

En reprenant l'expression de la puissance moyenne au réseau (10), on peut constater que si le convertisseur est idéal $\eta_1 = \eta_2 = 1$ et donc $\lambda = 0$, alors la puissance moyenne au réseau est strictement égale à la puissance absorbée par le Power-Take-Off. Si l'on n'est pas dans ce cas précis, la puissance moyenne au réseau peut être significativement différente. Elle pourrait prendre des valeurs négatives si le terme $\frac{|\kappa||\epsilon_0|\lambda}{B_{PTO}} > 1$, ce qui signifierait que le convertisseur d'énergie de la houle absorbe de l'énergie au réseau au lieu de lui en fournir.

La figure 1 montre, pour chaque période de houle, la limite de rendement à partir de laquelle le contrôle réactif est inefficace. Pour des rendements supérieurs à 50%, le contrôle est globalement toujours utile, hormis proche de la résonance du système. En effet, sa partie réactive s'annule naturellement, donc évidement aucun contrôle réactif n'est nécessaire.

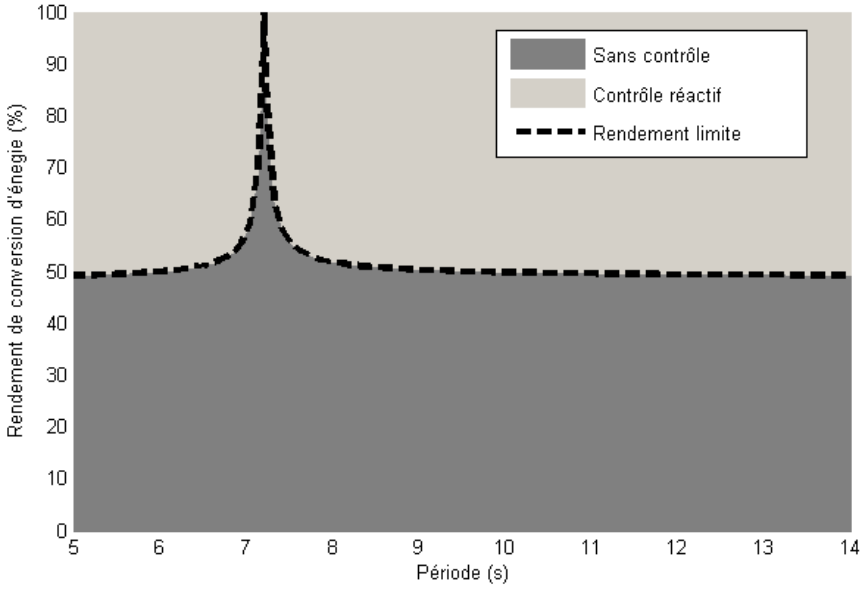


Figure 1 – Limite d'utilité du contrôle réactif

Pour un rendement donnée, il est intéressant de déterminer les valeurs optimale du facteur κ^{opt} qui maximise la puissance moyenne au résau. En utilisant les équations (13) et (10), il vient :

$$\bar{P}_{reseau} = \frac{1}{4}\frac{|\tilde{F}_{ex}|^2}{B + B^{opt}_{PTO}}\eta_3 \tag{14}$$

Ainsi, pour maximiser la puissance réseau, on cherche à minimiser le coefficient d'amortissement B^{opt}_{PTO}. On obtient en différenciant par rapport à κ :

$$\kappa^{opt} = max\left\{0, \frac{\epsilon}{\epsilon_0}\frac{1 - 2uB/|\epsilon| - u^2}{1 + u^2}\right\} \tag{15}$$

avec $u = \lambda/\eta_3$. Si le contrôle est idéal (i.e. $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 1$, donc $\lambda = u = 0$) alors $\kappa^{opt} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$. Dans cette configuration, $\kappa^{opt} \approx 1$ car la masse d'eau ajoutée $A(\omega)$ varie faiblement avec la pulsation de la houle incidente, le contrôle est donc pleinement réactif. La puissance moyenne au réseau exprimée avec les valeurs optimales des coefficients B^{opt}_{PTO} et κ^{opt} est égale à

$$\bar{P}_{reseau} = \begin{cases} \frac{|\tilde{F}_{ex}|^2}{8B}\frac{1+u^2}{1+u|\epsilon|/B}\eta_3 & si \quad \kappa^{opt} > 0 \\ \frac{|\tilde{F}_{ex}|^2}{4(B+\sqrt{B^2+\epsilon^2})}\eta_3 & si \quad \kappa^{opt} = 0 \end{cases} \tag{16}$$

L'impact de la prise en compte d'un rendement de conversion d'énergie sera évalué pour des rendements typiques des différentes solutions technologiques. On supposera, par simplicité, que tous les rendements partagent la même valeur ($\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta$). Les différents cas évalués sont les suivants : cas Idéal (100%), les cas Optimiste, Réaliste et Pessimiste pour une technologie électrique (98%, 95% et 90%) et un cas pour une technologie hydraulique standard (80%). Le cas sans contrôle est réalisé avec un rendement de 100% (i.e. $\eta = 1$). La figure 2 montre l'impact du rendement sur l'énergie absorbée par le système, pour un contrôle aux paramètres optimaux, et dans le cas d'efforts d'excitation sinusoidaux. Les pertes en haute et basse fréquences (comparée à la fréquence de résonance du système) sont proportionnellement les mêmes. Puisque la houle ayant une

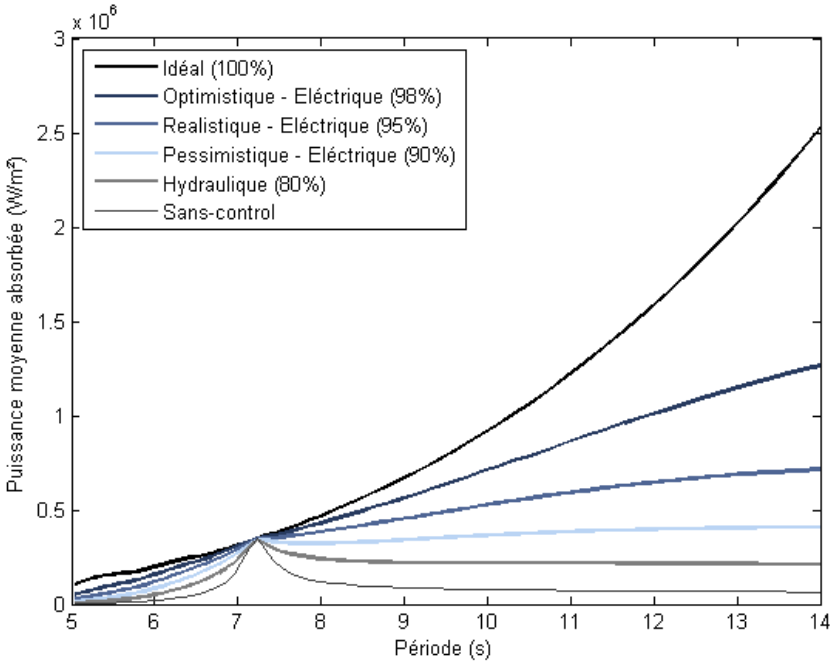


Figure 2 – Impact du rendement de conversion d'énergie sur la puissance absorbée en houle régulière

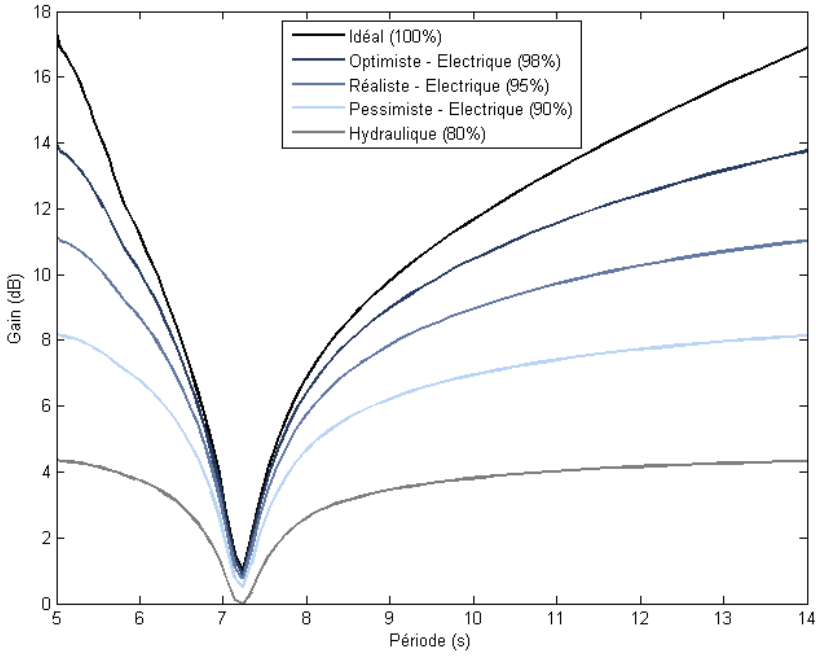


Figure 3 – Impact du rendement de conversion d'énergie sur le gain $G(\omega, \eta)$ en houle régulière

grande période de pic transporte plus d'énergie, la perte en basse fréquence est donc sensiblement plus pénalisante. La figure 3 représente le gain d'énergie espéré avec un système non idéal sous contrôle réactif. Le gain est déterminé comme suit,

$$G(\omega,\eta) = 10\log_{10}\left(\frac{P_{reseau}(\omega,\eta)}{P_0(\omega,\eta)}\right)$$

où P_0 correspond à la puissance absorbée sans contrôle. On peut constater que même pour des rendement tels que 98% ou 95 %, la chute de gain est significative. Proche de la résonance, aucun gain ne peut être attendu car la partie réactive du système est nulle. Cette perte d'énergie d'un convertisseur sans contrôle est déterminée comme suit,

$$L(\omega,\eta) = 10\log_{10}\left(\frac{P_0(\omega,\eta)}{P_0(\omega,\eta=1)}\right)$$

Ces pertes sans contrôle peuvent être prises en premier approche comme les pertes standards de contrôles passifs, tels que le latching, le contrôle simplement résistif ou le declutching.

IV – Houle irrégulière

Les résultats précédents ont été déterminés dans le cas d'une houle régulière et montrent l'effet de la prise en compte du rendement sur la puissance moyenne absorbée pour une force d'excitation sinusoidale. Dans le but de s'approcher d'un état de mer réel, celui-ci est décrit à l'aide d'un spectre d'énergie de Bretschneider. Les durées de simulations sont de 250s, et les résultats qui suivent sont la moyenne de 8 résultats obtenus avec des tirages de phases aléatoires différents.

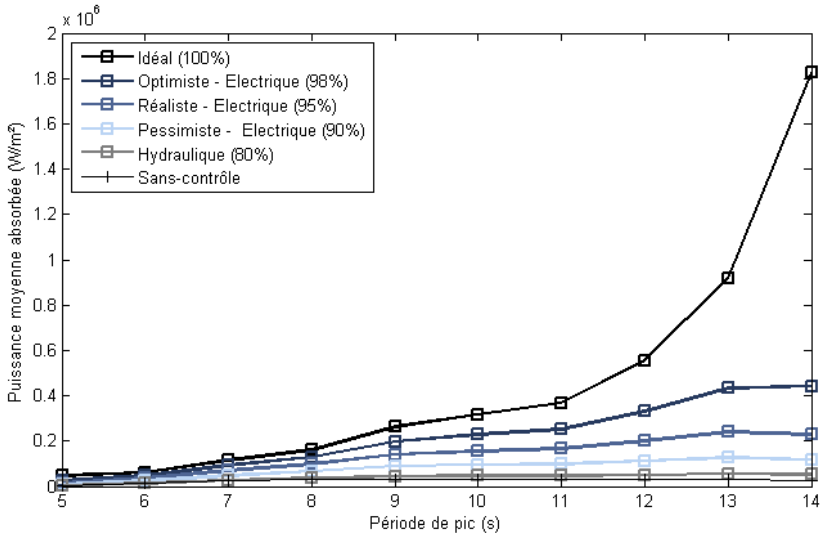


Figure 4 – Impact du rendement de conversion d'énergie sur la puissance absorbée en houle irrégulière

La figure 4 montre globalement le même phénomène que celui obtenu en houle régulière. En revanche, le gain d'énergie absorbée ne chute pas à 0 pour des fréquences proches de la résonance du système. En effet, même si la période de pic du spectre est proche de la résonance, il est toujours possible de récupérer de l'énergie des autres fréquences contenues dans la force d'excitation. Globalement, on retiendra qu'en houle irrégulière, un rendement de 90% implique des pertes de 50% comparé au cas idéal.

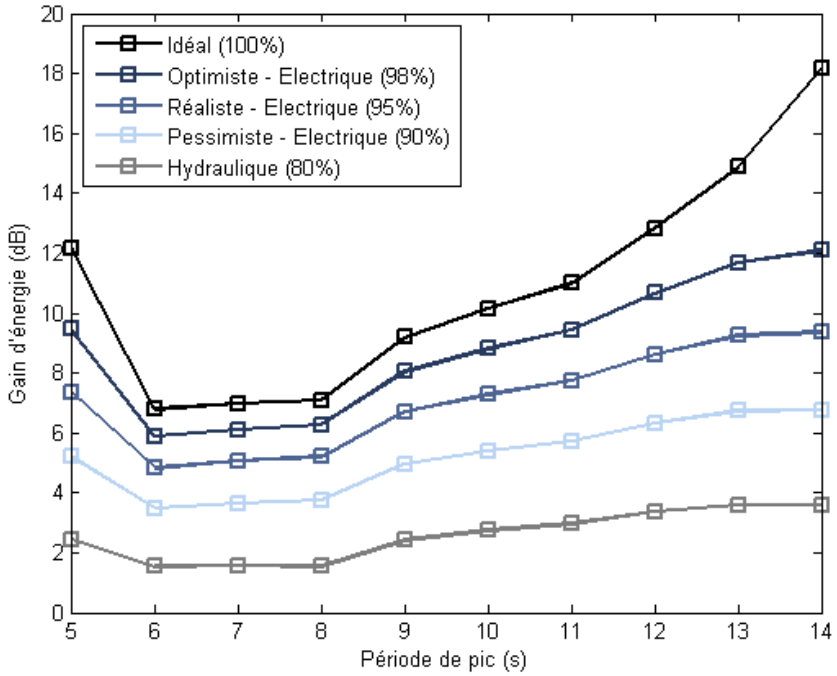


Figure 5 – Impact du rendement de conversion sur le gain $G(\omega, \eta)$ en houle irrégulière

V – Discussion

Définissons, à partir du rendement de conversion d'énergie intrinsèque aux actionneurs, un rendement global de contrôle qui compare l'énergie absorbée du système réel ($\eta < 1$) au cas idéal ($\eta = 1$).

$$\eta_{controle}(\omega, \eta) = \frac{P_{reseau}(\omega, \eta)}{P_{reseau}(\omega, \eta = 1)}$$

Les figures 6 et 7 montrent l'impact du rendement de conversion d'énergie des actionneurs sur le rendement de contrôle. Dans le cas d'une houle régulière, on constate que le rendement de conversion est égal au rendement du contrôle à la pulsation de résonance. En effet, à cette période précise, la part réactive du contrôle est nulle et le rendement de contrôle est égale à η_3 dans l'équation (4). Pour toutes les autres périodes d'excitation, le rendement de contrôle est nettement inférieur au rendement de conversion d'énergie intrinsèque aux actionneurs. Par exemple, en houle régulière, un rendement de conversion d'énergie de 98% entraine un rendement de contrôle moyen de 72% (moyenné sur les périodes allant de 5s à 14s).
Au delà de la chute importante du rendement de contrôle, il est intéressant de pouvoir estimer l'évolution de cette chute de puissance en fonction du rendement de conversion d'énergie. La figure 8 montre dans le cas d'une houle irrégulière et pour différentes périodes de pic, combien la chute de puissance est importante notament pour les hauts rendements. En effet, la plupart des pertes apparaissent pour des rendements situés entre 100% et 90% où l'on passe de 100% à 20% de l'énergie absorbée maximale. Dans les deux cas, houle régulière et irrégulière, le phénomène de sensibilité du gain aux rendements situés entre 100% et 90% est constaté. Ces résultats ont été obtenus pour des paramètres de contrôle optimaux $B_{PTO} = B_{PTO}^{otp}$ et $\kappa = \kappa^{opt}$.
Pour déterminer quelle influence peut avoir le facteur κ sur le gain d'énergie absorbée, il

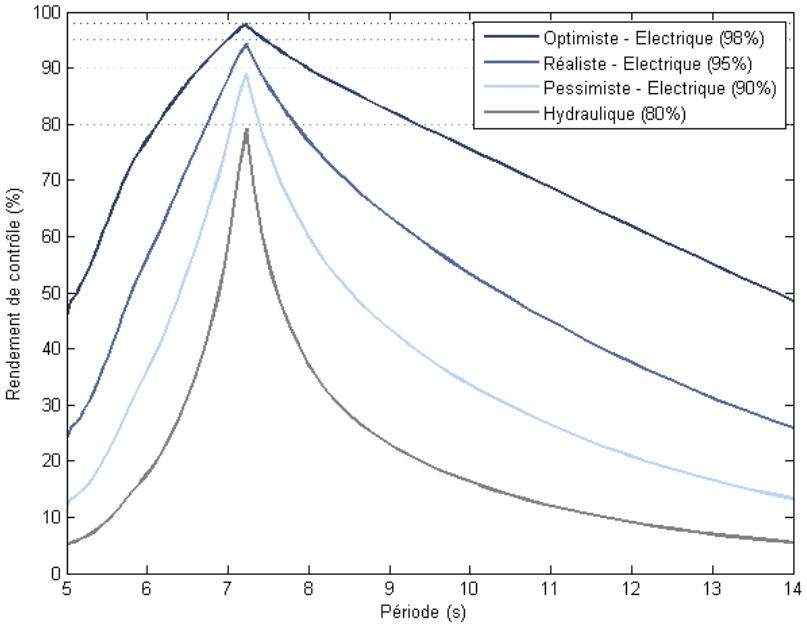


Figure 6 – Rendement de contrôle en houle régulière

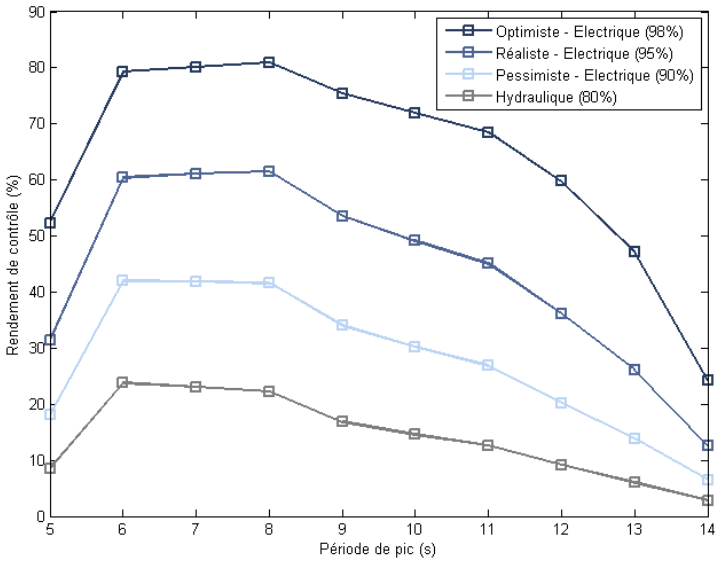


Figure 7 – Rendement de contrôle en houle irrégulière

est possible d'évaluer sa variation en fonction du rendement de conversion d'énergie. On exprime cette variation pour une valeur de rendement où la perte d'énergie est maximale, c'est à dire pour un rendement de 100%, soit $\frac{d\kappa}{du}\Big|_{u=0}$. Dans le cas d'une houle régulière,

$$\frac{d\kappa}{du}\bigg|_{u=0} = -\frac{2B}{|\epsilon|}$$

La valeur de cette variation est gobalement toujours nulle, hormis proche de la résonance, précisement là où le contrôle devient inutile. Finalement, la méthode intuitive consistant à réduire la partie réactive du contrôle afin d'en diminuer les pertes ne permet pas d'en

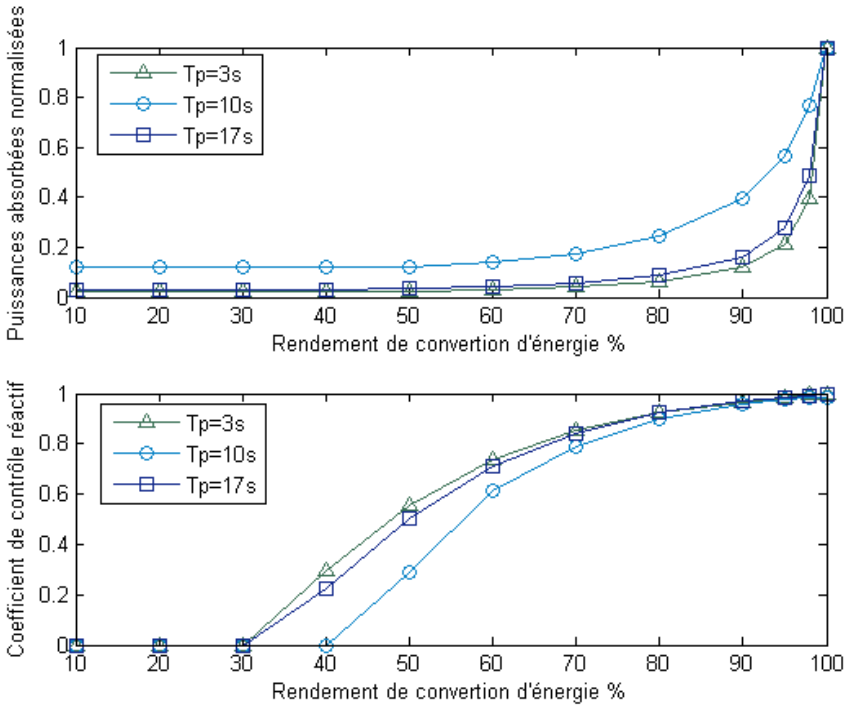


Figure 8 – Variations de la puissance absorbée et du coefficient κ en fonction du rendement de conversion d'énergie en houle irrégulière pour différentes valeurs de période de pic

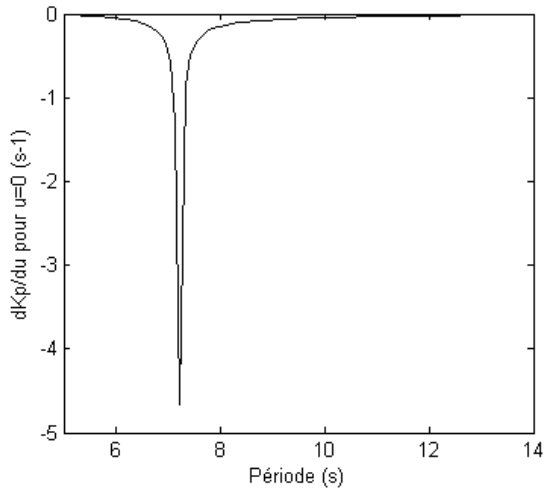


Figure 9 – Variation du coefficient κ pour $u = 0$ en houle régulière

offrir une réduction significative là où l'impact du rendement est conséquent (entre 100% et 80%).
Le contrôle réactif apporte tout de même un gain d'énergie supplémentaire non négligeable, mais très affecté par le rendement du système de conversion d'énergie. Ainsi, il conviendrait par la suite d'effectuer une comparaison de l'impact du rendement de conversion d'énergie pour des contrôles de type passif, comme le latching ou declutching, à un contrôle de type réactif, comme le contrôle complexe-conjugué ou contrôle de phase.

Références

[1] A. Babarit and A.H. Clément. Optimal latching control of a wave energy device in regular and irregular waves. *Applied Ocean Research*, 28 :77–91, 2006.

[2] A. Babarit and A.H. Clément. A study on the influence of time constants on the efficiency on the latching control. *10th European Control Conference ECC09*, 2009.

[3] A. Babarit, M. Guglielmi, and A.H. Clément. Declutching control of a wave energy converter. *Ocean Engineering*, 2009.

[4] P. Costa, P. Garcia-Rosa, and S. Estefen. Phase control strategy for a wave energy hyperbaric converter. *Ocean Engineering*, 2010.

[5] J. Cretel. An application of model predictive control to a wave energy point absorber. *International Federation of Automatic Control*, 2010.

[6] W. Cummins. The impulse response function and ship motions. *Schiffstechnik*, pages 491–502, 1962.

[7] G. Delhommeau. Seakeeping codes aquadyn and aquaplus. In *Proc. of the 19th WEGEMT school, numerical simulation of hydrodynamics, ships and offshore structures*, 1993.

[8] G. Duclos, A.H. Clément, and G. Chatry. Absorption of outgoing waves in a numerical wave tank using a self-adaptive boundary condition. *Int. Journal of Offshore and Polar Engineering*, 11(3) :168–175, 2001.

[9] J. Falnes. Optimum control of oscillation of wave-energy converters. *Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2001.

[10] J. Falnes. *Ocean waves and oscillating systems*. Cambridge university press, 2002.

[11] J. Hals, T. Bjarte-Larsson, and J. Falnes. Optimum reactive control and control by latching of a wave-absorbing semisubmerged heaving sphere. *Offshore Mechanics and Artic Engineering*, 2002.

[12] B. Li, R. Crozier, and E. Macpherson. Reactive causal control of a linear generator in irregular waves for wave power system. *European Wave and Tidal Energy Conference*, 2011.

[13] E. Tedeschi, M. Carraro, M. Molinas, and P. Mattavelli. Effect of control strategies and power take-off efficiency on the power capture from sea waves. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2011.