

Modélisation d'un système d'exploitation des énergies houlomotrices (Searev)

Les énergies renouvelables telles que les énergies houlomotrices peuvent être une alternative possible aux méthodes actuelles de production énergétique dans l'optique de réduire notre impact sur l'environnement. Plusieurs systèmes ont attiré notre attention mais le Searev, en tant que projet français de l'École Centrale de Nantes, nous a particulièrement intéressé.

Le Searev, est un projet intéressant puisqu'il permet de convertir l'énergie de la houle en énergie électrique à l'aide d'une bouée et d'une masse pendulaire. Ce projet se réfère donc au thème de cette année puisqu'il se place dans les catégories environnement et énergie que ce thème englobe.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Énergétique), PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Bouée houlomotrice</i>	<i>Wave buoy</i>
<i>Prototype</i>	<i>Prototype</i>
<i>Production énergétique</i>	<i>Energy production</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modelling</i>
<i>Mécanique newtonienne</i>	<i>Newtonian Mechanics</i>

Bibliographie commentée

L'énergie houlomotrice consiste à produire de l'électricité grâce au mouvement périodique de la houle. Le Searev (Système Électrique Autonome de Récupération de l'Énergie des Vagues) est une bouée houlomotrice de plusieurs tonnes composées d'une masse pendulaire, d'accumulateurs haute pression et de moteurs hydrauliques [1]. Le centre de gravité du système est décalé, d'où le comportement pendulaire. Le pendule ayant une masse plus élevée dans sa partie inférieure va donc essayer de garder sa position produisant grâce à un système pistons-moteur hydraulique de l'énergie électrique à partir du mouvement induit par la houle. La bouée possède cinq degrés de liberté : trois rotations et deux en translation. Le système est en effet relativement libre dans ses mouvements, étant retenu uniquement par un câble afin qu'il ne dérive pas trop loin [2].

Plusieurs approches doivent être considérées afin de modéliser et d'étudier l'ensemble du système Searev. Une approche mécanique est possible par exemple via l'utilisation d'un système d'équations différentielles et des notations matricielles [3]. Ce genre d'approches requiert la modélisation des vagues qui forcent l'oscillation du pendule. Pour cela, il est possible de relier force du vent sur l'échelle de Beaufort et hauteur des vagues grâce à la formule de Goda [4], [10]. La modélisation de la houle est un point important de l'étude étant donné que les performances du Searev dans la production d'électricité sont dépendantes des vagues. Il faut choisir entre une modélisation plus

simple (par exemple avec une onde unidirectionnelle) et une modélisation plus complexe et réaliste d'une houle irrégulière.

L'approche énergétique permet ensuite de calculer la puissance électrique générée et donc le rendement. L'énergie générée s'exprime en kWh. Il est possible de calculer la puissance générée par la houle en kW/m c'est-à-dire en kW par mètre de front de vague [5] et la comparer avec la puissance générée par le Searev : on obtient ainsi des matrices de production. La production énergétique du Searev dépend de la période et de la hauteur des vagues [6]. En combinant les résultats de cette matrice aux probabilités d'état de la houle à un endroit donné, on peut ainsi obtenir la production d'énergie théorique moyenne d'un Searev qui aurait été placé à cet endroit.

Selon la modélisation de la houle retenue, le système du Searev peut être décrit par des équations linéaires ou non-linéaires. La résolution formelle du problème comprenant des non-linéarités peut être impossible. Il est donc courant d'avoir recours à une simulation numérique ou des prototypes physiques. Des approches expérimentales ont déjà été réalisées pour valider la théorie. Il y a notamment eu un prototype à l'échelle 1/12ème testé dans des conditions proches du réel grâce à un bassin situé dans un laboratoire de l'Ecole Centrale de Nantes [7]. La loi de similitude de Froude donne les règles à vérifier en termes de rapport de forces d'inertie pour que la maquette soit pertinente pour l'étude. En particulier, elle donne la hauteur des vagues à générer dans le bassin afin d'obtenir des résultats équivalents à ceux obtenus pour un système de taille réelle.

D'autres sujets liés aux Searev peuvent être étudiés comme le fonctionnement du moteur hydraulique, des accumulateurs haute pression, des vérins hydrauliques, le transport de l'électricité produite [8]. De plus, il est possible d'étudier le besoin ou non d'un système de freinage afin de sécuriser l'installation en cas de tempête où même pour la maintenance. Les questions de résistance des matériaux, de mécanique des fluides ainsi que de la forme et composition de la coque peuvent aussi être abordés. Enfin tous les aspects électriques comme l'étude des chaînes de conversion électrique ont été ignorés mais ils ont déjà fait l'objet de recherches [9]. En effet, l'étude proposée ici est basée sur une vue globale du Searev, c'est-à-dire sur un aspect mécanique (la position angulaire de la roue, la vitesse de celle-ci avec une mise en équation), expérimental (fabrication d'un prototype et collection de données) et enfin sur un aspect énergétique.

Problématique retenue

Peut-on quantifier de manière simple la puissance générée par le Searev et en faire un prototype afin d'en observer le comportement ?

Objectifs du TIPE

1. Faire un prototype instrumenté du Searev
2. Mesurer la puissance récupérée par ce prototype
3. Faire une modélisation numérique du Searev grâce à une mise en équation
4. Dédire de la modélisation la puissance électrique (théorique) générée par le Searev

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] J-C. GILLOTEAUX, A. BABARIT, G. DUCROZET, M. DURAND, A. CLÉMENT : A Non-Linear Potential Model to Predict Large-Amplitudes-Motions: Application to the SEAREV Wave Energy Converter : 2007, San Diego (USA), ASME 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering
- [2] J. CORDONNIER, F. GORINTIN, A. DE CAGNY, A.H. CLÉMENT, A. BABARIT : Searev : Case study of the development of a wave energy converter : *Renewable Energy*, 2015, n°80, 40-52
- [3] C. JOSSET, A. BABARIT, A. CLÉMENT : A wave-to-wire model of the SEAREV wave energy converter : *Journal of Engineering for the Maritime Environment [en ligne]*, 2007, volume 221 n°2, pages : 81-93 : <https://doi.org/10.1243/14750902JEME48>
- [4] WIKHYDRO : Houle aléatoire : http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Houle_al%C3%A9atoire
- [5] M. RUELLAN, H. BEN HAMED, B. MULTON, C. JOSSET, A. BABARIT, A. CLEMENT : Design Methodology for a SEAREV Wave Energy Converter : *Energy Conversion*, 2010, n°25,3, 760-767
- [6] A. BABARIT, A. CLÉMENT, J. RUI, C. TARTIVEL : Searev : A fully integrated wave energy converter : <https://www.semanticscholar.org/paper/SEAREV-%3A-A-FULLY-INTEGRATED-WAVE-ENERGY-CONVERTER-Babarit-Cl%C3%A9ment/6384764f4984381b8cde9563dfe238477f647276?p2df>
- [7] M. DURAND, A. BABARIT, B. PETTINOTTI, O. QUILLARD, J.L. TOULARASTEL, A.H. CLÉMENT : Experimental validation of the performance of the SEAREV Wave Energy Converter with real time latching control : 2007, Porto (Portugal), EWTEC
- [8] A. BARBARY : Study on the smoothing effect of the power production in an array of Searev wave energy converters : 2008, Vancouver (Canada), ISOPE
- [9] J. AUBRY : Optimisation du dimensionnement d'une chaîne de conversion électrique directe incluant un système de lissage de production par supercondensateurs : application au houlogénérateur SEAREV : *Thèse de doctorat (2011) : électronique, électrotechnique, automatique. ENS Cachan*
- [10] Y. GODA : Random Seas and Design of Maritime Structures : 2000, *Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 15*, <http://docshare04.docshare.tips/files/19054/190547765.pdf>

DOT

- [1] *Printemps 2020 : Début des recherches, objectifs du TIPE, début de la fabrication du premier prototype. Choix de la modélisation numérique de la houle et calcul de la puissance maximale récupérable par celle-ci. Mise en équation du Searev et résolution de l'équation différentielle afin de modéliser son comportement.*
- [2] *Été 2020 : Problèmes liés au prototype (conversion du mouvement par un système bielle-manivelle) ne pouvant être résolus, création d'un deuxième prototype. Essai de mesures sur le prototype non fructueuses car l'intensité du courant était trop faible pour la mesurer (avec le matériel à disposition). Travail sur la modélisation numérique.*
- [3] *Septembre 2020 - Novembre 2020 : Recherche d'une solution. Choix de changer le moteur (12 V) en un motoréducteur car la vitesse de rotation était trop faible pour mesurer une intensité.*

Commande de ce motoréducteur (3 V – 200 rpm). Tracé de la puissance généré par le modèle numérique.

[4] *Novembre 2020 - Janvier 2021 : Rectification des tracés de puissance (numérique). Commande d'un galvanomètre afin de mesurer de faibles intensités de courant. Début de la rédaction de la bibliographie.*

[5] *Janvier 2021 - Mars 2021 : Nouvelles mesures à l'aide d'un voltmètre et d'un galvanomètre (peu précis : retard numérique et mécanique). Codes informatiques (python et Arduino) pour recueillir et écrire les données dans un fichier texte. Finalisation de la bibliographie.*

[6] *Mars 2021 - Mai 2021 : Nouvelles mesures avec un Arduino et un shunt après avoir difficilement réajusté la tension de la chaîne. Tracé des courbes expérimentales (tension, puissance). Calcul du rendement (modélisation). Préparation de la présentation orale.*