

Caractérisation des efforts hydrodynamiques sur une maquette d'hydrolienne à axe vertical

Dellinger.N, Imbault.D, Tourabi.A

Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels

B.P. n°53, 38041 Grenoble e.

Nicolas.dellinger@hmg.inpg.fr

Résumé:

Ce papier expose la problématique générale liée aux méthodes d'évaluation des variations spatiales et temporelles des chargements sur une maquette d'hydrolienne et à l'extraction des données issues des études hydrodynamiques, aussi bien expérimentales que numériques. Par ailleurs, nous présentons la définition détaillée d'une balance d'efforts, en cours de réalisation, destinée à la caractérisation hydrodynamiques des turbines.

Abstract:

This paper deals with evaluating the space and time loading fluctuations on hydrolian models, as well as extraction of numerical and experimental hydrodynamics data. Furthermore, we present the detailed definition of new test equipment devoted to hydrodynamic characterisation of turbines.

Mots clés :

Energie renouvelable, hydroliennes, efforts hydrodynamiques

1 Introduction

Le contexte énergétique actuel amène à rechercher des sources d'énergies renouvelables, alternatives à l'utilisation des énergies fossiles. La récupération de l'énergie à partir de la cinétique des courants marins ou fluviaux est particulièrement intéressante, car elle constitue une source immense et quasi inépuisable (Journal Environnement et Technique, 2006). En installant des hydroliennes marines ou fluviales, il est possible de récupérer une partie de cette énergie cinétique.

Le travail présenté ici correspond à un projet de thèse entamé en octobre 2006. Il s'agit de réaliser et de mettre en œuvre une balance de mesure d'efforts à six composantes. Ce dispositif en cours de réalisation permettra de caractériser les efforts hydrodynamiques s'exerçant sur une maquette d'hydrolienne, située dans une veine d'essais. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur le thème de la récupération de l'énergie cinétique des courants marins et fluviaux: le programme HARVEST (Hydroliennes à Axe de Rotation VERTICAL STabilisé). Ce programme regroupe quatre laboratoires de la région Rhône-Alpes : LEGI, 3SR, LEG et LAMCOS.

Le programme HARVEST est basé sur un concept de turbines à axe vertical et à flux transverse qui se distingue des machines à flux axiales (Figure 1). L'intérêt principal de ce concept réside dans la capacité à fonctionner quel que soit le sens du courant. L'axe vertical, appelé « axe turbines », permet également de réaliser des empilements de turbines. La fixation de cet axe est assurée par une structure en treillis appelée « tour ». Les tours sont ensuite assemblées en faisceaux et ancrées sur le fond marin ou fluvial, de sorte à optimiser un rendement global (Antheaume, S. et al., 2006). Ces systèmes, par leur modularité, offrent une multitude d'applications intéressantes et viables.

L'hydrolienne Achard est une turbine munie de pales en aile delta (Figure 1-c). Ces pales motrices sont raccordées au moyeu de la turbine par des bras également en profil d'aile. En comparaison avec la turbine Gorlov (Figure 1-b), l'avantage de la turbine Achard réside dans l'équilibrage des efforts hydrodynamiques axiaux sur les pales. Par rapport à une turbine à pale droite du type Darrieus (Figure 1-a), la turbine Achard présente une meilleure progressivité au cours du fonctionnement. Ceci permet de réduire de façon importante le phénomène de chocs dû aux décollements dynamiques liés au régime turbulent (Amet, E. et al., 2006).

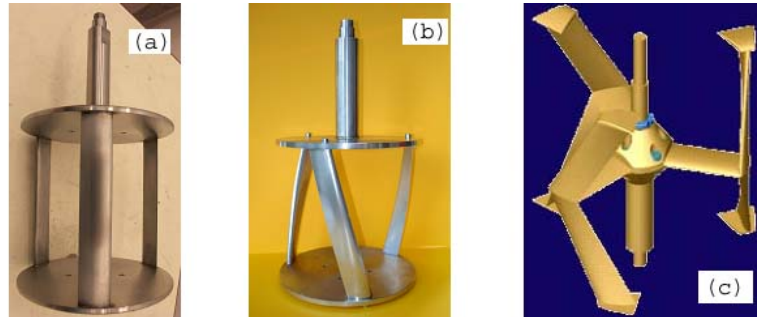


Figure 1. Vues de trois turbines à flux transverse: (a) Darrieus, (b) Gorlov, (c) Achard.

2 Enjeux de la caractérisation expérimentale des turbines

La caractérisation expérimentale du comportement des turbines en fonctionnement en vue de la validation de leur conception est un aspect méthodologique capital dans le développement du projet HARVEST. Les résultats expérimentaux, qui seront fournis par la balance d'efforts en cours de réalisation, vont permettre des avancées significatives en ce qui concerne les aspects hydrodynamiques, mécaniques des solides et électriques.

Enjeux sur la modélisation numérique de l'écoulement - Un code de simulation du comportement hydrodynamique de l'hydrolienne en fonctionnement est actuellement en cours de développement au LEGI dans le cadre du DRT de Sylvain Antheaume (Antheaume, S. et al., 2006). Celui-ci nécessite une identification par des données expérimentales qui font cruellement défaut en l'état actuel de l'avancement du projet. La balance de mesure d'efforts permettra de lever ce frein et de poursuivre le développement des modélisations hydrodynamiques par les différentes approches proposées au LEGI.

Enjeux sur la conception et sur la tenue en service des hydroliennes - La connaissance précise des sollicitations exercées par le fluide sur les hydroliennes constitue la base sur laquelle s'appuient la conception et le dimensionnement des machines réalisées au laboratoire 3SR. La balance de mesure d'efforts permettra, par ailleurs, l'optimisation du triptyque structure – matériau – procédé de fabrication, qui répond à des exigences fortes de coût, de robustesse et longévité dictées par un besoin de tenue en service.

Enjeux sur la chaîne de puissance électrique - L'objectif essentiel de la conception de la chaîne de puissance électrique correspond à l'optimisation de la production d'énergie. Nous recherchons en effet à maximiser la puissance électrique, à améliorer la qualité de l'énergie produite, ainsi qu'à minimiser les discontinuités engendrées par les sollicitations mécaniques des parties tournantes. Les résultats expérimentaux attendus serviront de bases de données au LEG pour la conception des chaînes de puissance des futurs démonstrateurs et prototypes, qui seront installés sur des sites naturels.

3 Extraction et analyse des données de la balance d'efforts première génération

Une balance d'efforts multi-composantes de première génération (figure 2) a été conçue et réalisée dans le cadre du DRT de L. Guittet (GUITTET, 2005). Cette balance a été intégrée dans le tunnel hydrodynamique du LEGI. Son principe de fonctionnement est basé sur une table tridimensionnelle munie de trois glissières, qui permet trois translations. Celles-ci donnent accès aux mesures des efforts sur la turbine dans la direction de l'écoulement, et dans les directions transversale et axiale. Un couple-mètre monté sur l'arbre de rotation permet de mesurer le couple. Un frein réalisé par un moteur pas à pas contrôle la vitesse de rotation.

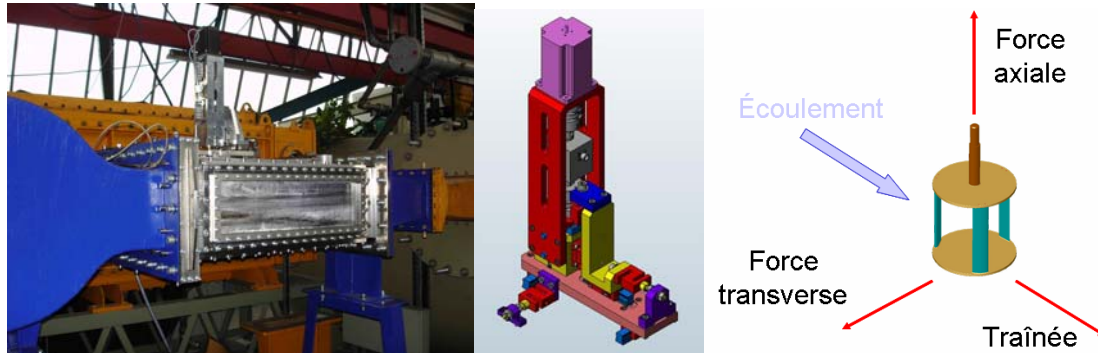


Figure 2. (a) veine d'essais, (b) balance d'efforts, (c) efforts mesurés.

Cette balance première génération a permis de tester des turbines de type Gorlov (GUITTET, 2005). La figure 3a donne un résultat typique de l'évolution des efforts de traînées respectivement dans le sens de l'écoulement et dans le sens transversal. Ces résultats sont donnés à l'emballage, pour une vitesse de rotation de l'ordre de 110 rad.s^{-1} . La vitesse du fluide correspondante dans la veine est de $2,7 \text{ m.s}^{-1}$. La valeur moyenne de la traînée mesurée dans le sens du courant est de l'ordre de 16 daN et son amplitude de variation est de $\pm 4 \text{ daN}$. La valeur moyenne de la traînée mesurée dans le sens transversal est de l'ordre de 1 daN et son amplitude de variation est de $\pm 3 \text{ daN}$. La fréquence d'oscillation des efforts est de l'ordre de 50 Hz . Compte tenu de la vitesse de rotation de la turbine, ce résultats correspond bien au passage successif des trois pâles sur un tour. A titre de comparaison, la figure 3b donne un résultat numérique typique de l'évolution des efforts de traînées dans les mêmes conditions. Ces résultats sont issus du code numérique développé dans le cadre du DRT de S. Antheaume. Ils confortent les ordres de grandeurs des efforts de traînée mesurés, ainsi que leur fréquence de variation.

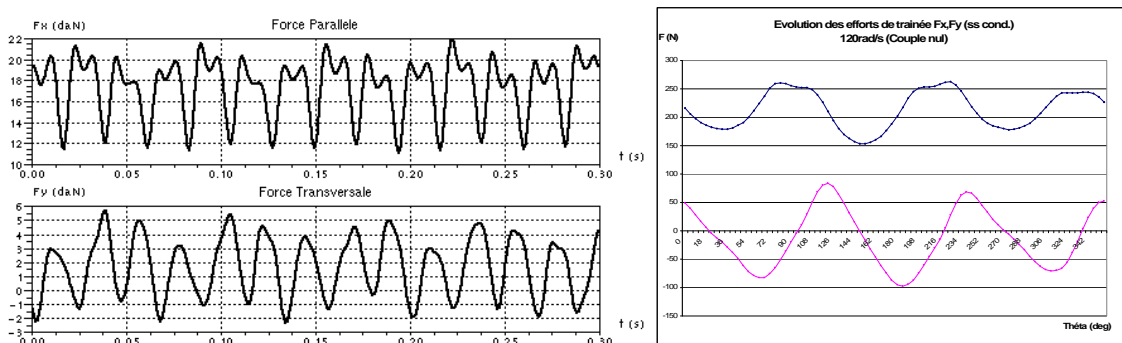


Figure 3. (a) courbes expérimentales, (b) courbes issues de calculs numériques.

Malgré ces premiers résultats expérimentaux assez cohérents, la balance d'efforts première

génération a montré des limites d'utilisation, inhérentes à sa conception. En effet cette balance a révélé les faiblesses suivantes:

- La fréquence de résonance de la structure est faible, compte tenu d'une conception très peu rigide. Cela induit des effets dynamiques parasites sur les mesures.
- La gamme de mesure du couple de la turbine est inadaptée.
- Les efforts sont mesurés par des capteurs à jauges, qui correspondent à une technologie très peu adaptée aux mesures dynamiques.
- Le moteur pas à pas ne permet pas d'asservir la vitesse de l'arbre de la turbine. Par conséquent, il est difficile de caractériser l'évolution du couple en fonction de la vitesse de rotation.
- Des frottements au niveau des rails de guidage faussent la mesure des efforts et induisent un phénomène d'hystérésis sur les résultats.
- Des frottements parasites freinent la rotation de l'arbre de la turbine.

4 Définition et conception d'un nouveau dispositif expérimental

La nouvelle balance d'efforts doit permettre la mesure instantanée et simultanée des grandeurs physiques permettant de caractériser entièrement les maquettes des turbines, à savoir: la vitesse de rotation, la position angulaire des pâles, les efforts induits par l'écoulement (traînée, portance), le couple transmis à l'arbre, ainsi que les moments de basculement éventuels. A partir de ces objectifs, nous avons défini un cahier des charges précis constitué essentiellement des contraintes suivantes :

- La structure de la construction doit être très rigide pour palier aux effets dynamiques des sollicitations, qui peuvent atteindre 100 Hz dans le cas d'une maquette de turbine à cinq pâles.
- La gamme d'effort à mesurer est définie par un effort de traînée de 300 N pour une vitesse de rotation à l'emballement de l'ordre de 1200trs/min.
- Une génératrice doit être prévue pour asservir la vitesse de rotation de la turbine et mesurer le couple. La valeur du couple moteur est estimée à 5 N.m.
- Les moyens de mesure des efforts et des vitesses doivent être adaptés, afin d'optimiser la précision des mesures et permettre de détecter les variations fines des grandeurs essentielles, au cours du fonctionnement.

Pour répondre à ce cahier des charges en terme de rigidité et de réponse dynamique de la structure, nous avons envisagé trois solutions technologiques. La première solution correspond à un palier électromagnétique actif destiné habituellement à l'usinage à grande vitesse (Auchet,

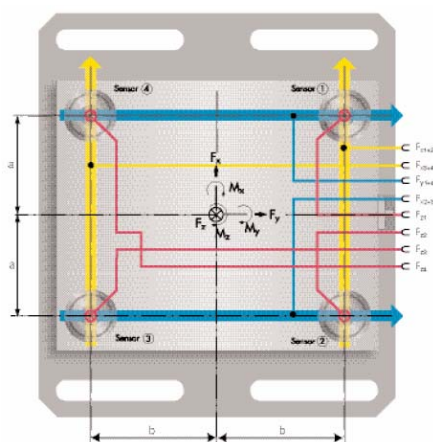


Figure4 Platine piézoélectrique Kistler

2004). Les valeurs des forces et des couples exercés sur l'arbre tournant sont obtenues par la mesure des tensions d'alimentation du palier. Ce système est adapté à notre problème, néanmoins sa mise en oeuvre s'avère délicate. La deuxième solution correspond à un palier hydrodynamique (P. Chantrel, 2005). L'intérêt principal de ce système est sa grande rigidité. Les cinq composantes d'efforts sont obtenues à partir de la mesure des pressions à l'intérieur du palier fluide. Néanmoins, ce système ne permet pas de mesurer le couple sur l'arbre. Cette valeur est pourtant indispensable à nos mesures. La troisième solution consiste à utiliser une platine piézoélectrique de mesure d'efforts (figure 4). Cette platine est munie de quatre capteurs piézoélectriques, dont la combinaison des mesures permet l'acquisition simultanée des six

composantes d'efforts, appliquées au centre de la platine. Ce système est très facile d'emploi et possède une grande rigidité. De plus, il est possible d'adapter la gamme de mesure selon le type de turbine testé et ainsi optimiser la précision des mesures. Notons que compte tenu du phénomène de dérive important des capteurs piézoélectriques, la durée d'acquisition pourrait être limitée dans le temps.

4.3 Solutions retenues

Parmi les trois solutions envisagées, nous avons retenu la troisième, qui correspond à l'utilisation d'une platine piézoélectrique. Nous présentons dans ce paragraphe deux options d'architecture mécanique de la nouvelle balance. Ces deux solutions sont présentées sur la figure 5. Dans la première architecture (fig.5a), les maquettes d'hydroliennes sont accouplées à un arbre indépendant, en liaison pivot avec le bâti. Cette liaison est réalisée par un montage de roulements préchargés. La génératrice est fixée en parallèle. La transmission du couple se fait par une courroie crantée haute rigidité. Cette solution permet grâce à un rapport de réduction entre les deux arbres d'adopter une génératrice standard, compte tenu de la faible vitesse de rotation de la turbine. Dans la deuxième architecture (fig.5b), la turbine et la génératrice possèdent le même axe de rotation. La génératrice adoptée est à arbre creux. Cette solution permet d'éviter l'empilement vertical d'éléments et conduit à un ensemble très compact et assez ramassé.

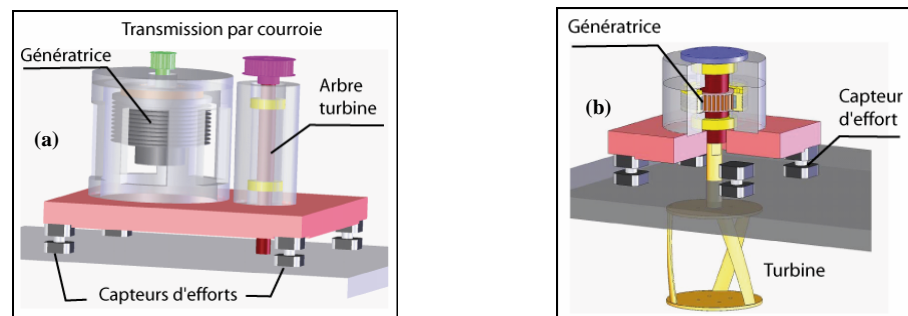


Figure 5. Architectures de la balance, (a) génératrice indépendante, (b) génératrice intégrée.

4.1 Estimation de la fréquence propre de la structure

Les sollicitations exercées sur la balance présentent une variabilité temporelle forte. En effet, la fréquence d'excitation de la structure peut atteindre 100Hz. Le dimensionnement de l'ensemble (valeurs de précharge des roulements, dimensions des pièces, matériaux...) doit permettre d'obtenir la fréquence propre la plus élevée possible, pour minimiser les perturbations sur les mesures. Pour estimer les fréquences propres de la nouvelle balance, nous avons procédé à une modélisation simple du problème vibratoire, en tant que première approche. La figure 6 présente un schéma du modèle de la balance, qui simule indifféremment les deux architectures que nous avons adoptées. Ce modèle est constitué d'une plaque support de masse m_1 . Cette plaque repose sur les quatre capteurs piézoélectriques et supporte la partie supérieure de la balance, modélisée par un cube de masse m_2 . Chaque capteur est modélisé par trois éléments élastiques sans amortissement visqueux, dont les paramètres de rigidité k_i sont indiqués sur la figure 6. La rigidité de la liaison pivot de l'arbre de l'hydrolienne est modélisée par un ensemble d'éléments élastiques selon les directions axiale et radiale. Les valeurs de ces rigidités sont étroitement liées à la précharge des roulements. Par ailleurs, ce modèle tient compte de la rigidité en flexion de l'arbre de l'hydrolienne par l'intermédiaire des coefficients C_x et C_y .

Ce modèle paramétrable nous permet d'optimiser la conception de la balance. Un premier choix de paramètres nous a permis d'obtenir une fréquence propre supérieure à 300Hz, soit 3 fois la fréquence d'excitation du système. Ce résultat nous conforte dans nos choix de

conception. La réalisation finale fera l'objet d'une étude vibratoire plus approfondie.

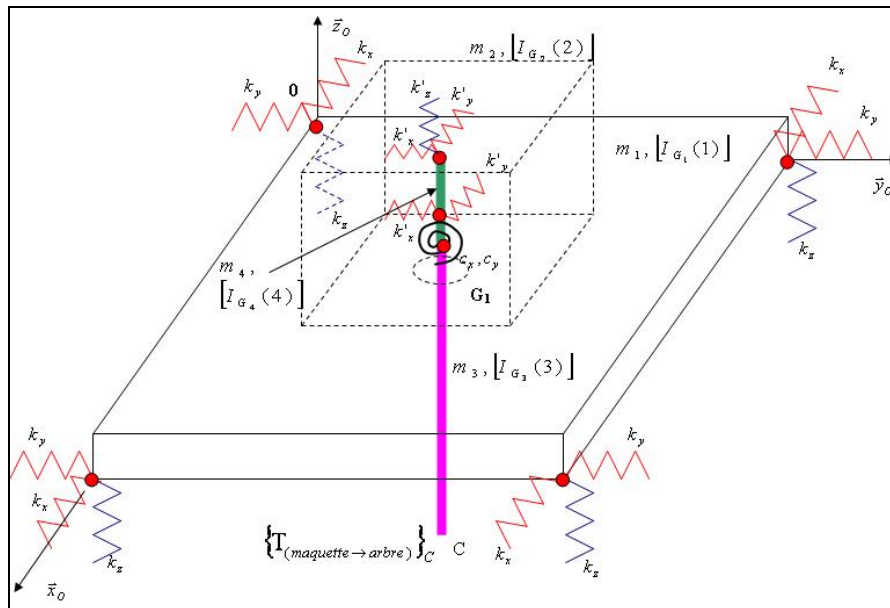


Figure 6. Modélisation du système vibratoire

5 Conclusions et perspectives

Nous avons capitalisé le retour d'expérience apporté par une balance d'efforts première génération. En parallèle, des données issues d'un outil de simulation numérique ont permis de compléter et d'affiner les estimations des valeurs des sollicitations. Ainsi, nous avons pu définir un cahier des charges précis pour la conception d'une balance nouvelle génération. Deux solutions technologiques ont été adoptées et étudiées. Ces solutions qui assurent une rigidité optimale de la balance, sont basées sur l'utilisation d'une platine munie de quatre capteurs piézoélectriques. Le développement de cette nouvelle balance d'efforts est en cours de finalisation. La mise en oeuvre de ce dispositif constitue une étape capitale dans le développement du projet HARVEST. En effet, les résultats attendus conditionneront des orientations importantes du projet.

Références

- Journal Environnement et Technique, Energies marines – Un océan de mégawatts, n° 256, (mai 2006), pp. 25-28.
- Antheaume, S., Maître T., Buvat C., Abonnel C., Optimisation of a vertical axis water turbine farm. International Conference – from Innovation to Industry, Oct. 23rd/24th, Bremerhaven, Germany, (2006).
- Amet, E., Pellone, C., Maître, T., A numerical approach for estimating the aerodynamic characteristics of a two bladed vertical Darrieus wind turbine. Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, Special Issue, ISSN 1224-6077, (2006), pp. 95-102.
- L. Guittet, Outil de prédimensionnement des hydrolienne Darrieus: Aspects expérimental et numérique, DRT INPG, 2005.
- S. Achet, Développement d'une technique originale de mesure des efforts de coupe en usinage à grande vitesse basée sur la technologie des paliers magnétiques actifs, thèse ISGMP, 2004.
- P. Chantrel, Balance de paroi, Alstom, CER Grenoble, Mémoire, 2005.