



**Développement d'une méthode prédictive du bruit rayonné d'une hydrolienne en
acoustique sous-marine**

Descriptif du sujet de thèse

Laboratoires d'accueil :

Les travaux se dérouleront pour 50% du temps (première période) au sein des deux laboratoires universitaires et pour 50% du temps (deuxième période) dans les locaux de l'entreprise (partenaire industriel):

- Laboratoires universitaires de rattachement :
 - o LMFA (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique) de l'ECL (Ecole Centrale de Lyon)
 - o LVA (Laboratoire Vibrations Acoustique) de l'INSA Lyon
- Entreprise : DCNS Research CEMIS/AC, Le Mourillon, BP403, 83055 Toulon Cedex

Le doctorant bénéficiera d'un contrat CIFRE avec DCNS, et d'un co-encadrement scientifique par la LMFA et le LVA. Il sera rattaché à l'école doctorale N° 162 MEGA de Lyon (Mécanique Energétique Génie Civil Acoustique).

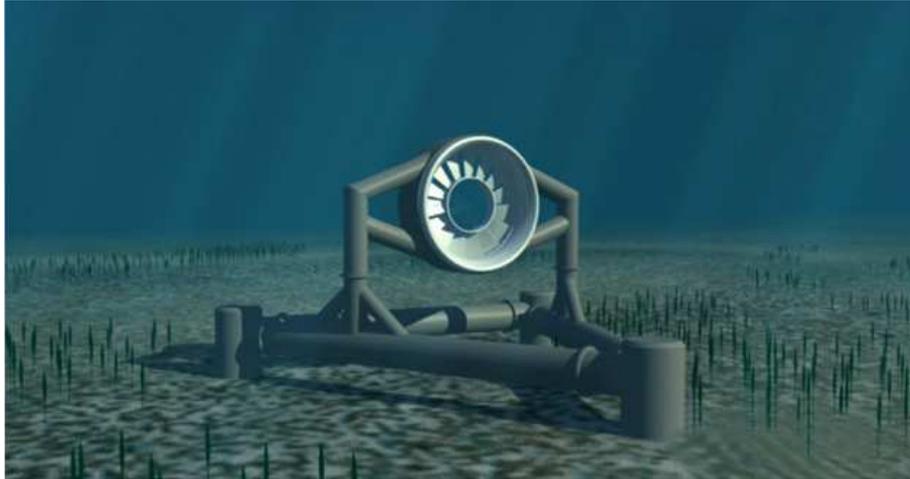
Une convention et des contrats d'accompagnement seront mis en place entre DCNS et les laboratoires universitaires.

Contexte :

L'impact acoustique des navires et des systèmes navals dans l'environnement est une préoccupation croissante du public et des autorités. Le bruit sous-marin induit des risques importants sur la faune marine (perturbation des flux migratoires, raréfaction de certaines espèces, échouage de cétacés...). Un sujet d'importance croissante est l'impact acoustique des systèmes d'EMR (Energie Marine Renouvelable) dans l'environnement. Afin de permettre l'installation en mer de ces systèmes, les autorités demandent des études d'impact environnemental, incluant l'impact acoustique sur la faune marine.

DCNS et la filiale OpenHydro développent leurs activités dans le domaine de l'énergie des courants marins, captée à l'aide d'hydroliennes. Dans un souci d'évaluation de l'impact environnemental de ces systèmes, une méthode prédictive de bruit rayonné en mer par une hydrolienne en phase opérationnelle est dans un premier temps nécessaire. Les études d'impact environnemental acoustique nécessitent une bonne connaissance des niveaux d'émission des différentes sources de bruit sous-marin. Concernant le bruit sous-marin, cette information est actuellement souvent non disponible ou imprécise par manque de données ou de compréhension des phénomènes physiques.

L'objectif de cette étude est d'évaluer par des moyens numériques le bruit rayonné dans l'eau par une hydrolienne en opération, pour ce qui concerne les bruits d'origine hydrodynamique. Pour ce type de système, il s'agit d'un sujet nouveau, avec la possibilité de transposer des méthodes déjà existantes pour l'étude d'autres systèmes.



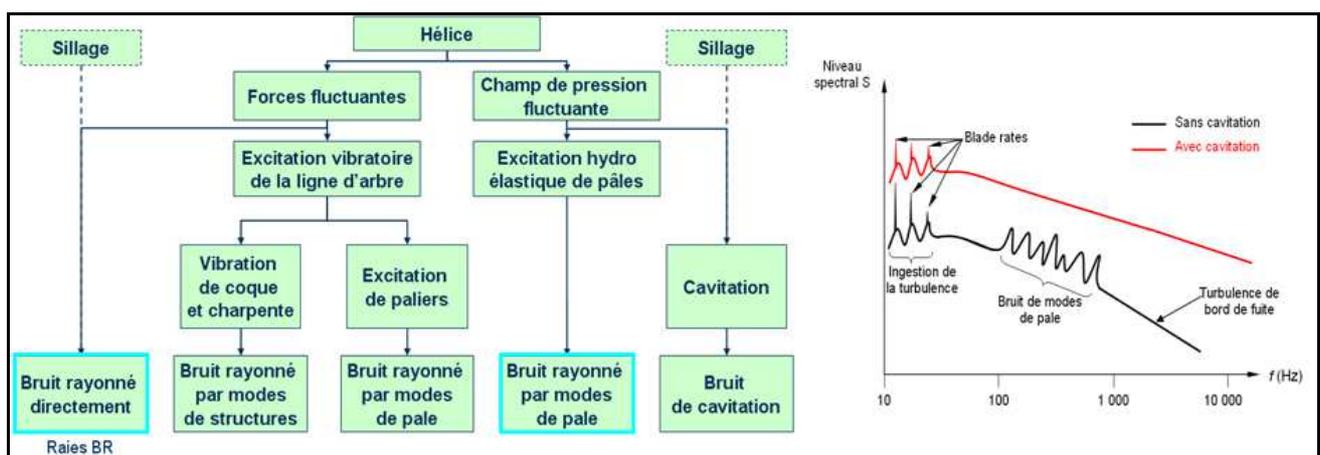
Hydrolienne installée sur le fond marin.

Phénomènes mis en jeu et démarche scientifique :

L'objectif est de mettre au point des méthodes prédictives du bruit d'origine hydrodynamique généré par l'écoulement de l'eau sur la structure de l'hydrolienne et ses pales lors de son fonctionnement. Les vitesses d'écoulement sont relativement faibles (quelques mètres par seconde) mais par contre le diamètre des hydroliennes est supérieur à 10 mètres, de qui peut induire des vitesses assez élevées sur les pales.

Généralités sur les bruits hydrodynamiques en acoustique sous-marine :

Pour aborder le sujet, on peut partir des connaissances sur le bruit rayonné dans l'eau par des hélices de navires. La figure suivante recense les différents phénomènes et présente une courbe typique de niveau de bruit rayonné en fonction de la fréquence.



On distingue des phénomènes qui ne mettent en jeu que l'hydro-acoustique (par exemple la turbulence de bord de fuite), et des phénomènes qui mettent en jeu la réponse vibro-acoustique des structures (par exemple la résonance des pales). Compte tenu des vitesses d'écoulement relativement faibles, les phénomènes de cavitation ne devraient pas survenir, mais par contre des décollements de l'écoulement pourraient apparaître.

Hydro-acoustique :

Le bruit d'origine hydrodynamique d'une hydrolienne, indépendamment de toute vibration, est dû à l'instationnarité des écoulements accompagnant le mouvement des pales. Conformément au formalisme de l'analogie acoustique pour des faibles de nombres de Mach, les sources équivalentes sont de nature dipolaire, constituées par les fluctuations des efforts exercés sur les pales. On peut estimer leur rayonnement par le formalisme de Ffowcs Williams et Hawkings, ce qui sous-entend une démarche en deux étapes. La première étape est la détermination des fluctuations de charge hydrodynamiques (les sources) à partir d'une connaissance supposée des perturbations de vitesse de l'écoulement ; la seconde est le calcul du rayonnement, selon les lois classiques de l'acoustique linéaire.

Pour la technologie envisagée dans la thèse, les mécanismes d'émission dominants attendus peuvent être décrits de la manière suivante.

1 - L'écoulement d'alimentation de l'hydrolienne ne peut être à symétrie de révolution ; il représente une distorsion stationnaire vis-à-vis des échelles de temps liées au passage des pales et induit sur ces dernières des fluctuations périodiques. Le bruit correspondant est un bruit de raies aux harmoniques de la fréquence de passage des pales.

2 - Le même écoulement d'alimentation est aussi porteur de turbulence à relativement grande ou moyenne échelle, responsable de charges aléatoires sur les pales qui rayonnent un bruit à large bande. On parle de bruit d'ingestion de turbulence. Ce bruit signe majoritairement aux basses et moyennes fréquences.

3 - Indépendamment de l'alimentation, les couches limites qui se développent sur les pales sont turbulentes aux grands nombres de Reynolds concernés. Le passage de la turbulence correspondante aux bords de fuites des pales s'accompagne de l'émission d'un bruit dit de bord de fuite, bruit à large bande qui signe aux moyennes et hautes fréquences.

4 - Dans une moindre mesure un bruit de bord de fuite est aussi attendu de l'écoulement sur le carénage de l'hydrolienne. Par ailleurs de fortes variations peuvent se combiner avec la distorsion d'alimentation et faire qu'une pale subisse des décollements durant une partie de sa rotation. Une évaluation de ces sources de bruit reste à faire dans la communauté scientifique.

Les mécanismes précités doivent être appréhendés pour conduire à une estimation complète des sources de bruit liées à l'écoulement. Une telle estimation ne peut s'effectuer par voie intégralement numérique, la conjonction des faibles nombres de Mach et des grands nombres de Reynolds représentant une difficulté pour les approches numériques de mécanique des fluides. En revanche les traits principaux de l'écoulement, indépendamment du bruit rayonné, peuvent être simulés. L'approche proposée dans la thèse revient donc à mettre en œuvre des modèles analytiques de description des sources et/ou de leur rayonnement, à partir d'une simulation des écoulements incriminés, typiquement selon les approches décrites dans les références [1], [2], [3]. La simulation pourra être partielle, par exemple fondée sur une approche moyennée (code RANS pour *Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) accompagnée par une modélisation de la turbulence ou d'autres types de distorsion non résolus. Les modèles seront adaptés des techniques déjà employées en aéroacoustique des machines tournantes. Une attention particulière sera accordée à la définition de rapports dimensionnels qui aideront à sélectionner les modèles les plus adaptés (rapport géométriques, nombre de Helmholtz, etc.).

Vibro-acoustique :

La réponse vibro-acoustique du système peut entraîner une amplification des niveaux de bruit rayonné. Pour le système qui nous intéresse ici, deux aspects sont à prendre en compte en priorité :

1 - A basse fréquence, la réponse globale de la structure, avec possibilité de coïncidence avec les fréquences de passage des pales. Noter que la structure en forme de couronne (ou stator) peut présenter des modes de résonance globaux dans cette gamme de fréquences.

2 - A moyenne et haute fréquences, la réponse vibro-acoustique des pales. Les points les plus délicats sont ici le choix du modèle de couche limite turbulente, l'estimation des fluctuations de pression dans les bas nombres d'onde et la prise en compte de l'hétérogénéité de l'écoulement sur la pale. Pour cela, on pourra reprendre et adapter les méthodes développées dans le cadre de la

thèse de Marion Berton [5], [6]. La définition d'un critère sur la validité de la décomposition en zones reste à étudier et à relier aux paramètres de la couche limite.

Pour la modélisation du comportement vibroacoustique des structures de l'hydrolienne, la méthode des éléments finis semble la plus appropriée car elle permet de tenir compte de la géométrie complexe des systèmes considérés. Le problème vibroacoustique se caractérise par : (a), un couplage fort entre la structure et le fluide. Il est nécessaire de décrire finement le rayonnement évanescent autour de la structure pour correctement représenter l'effet réactif du fluide sur la structure ; (b), le domaine de fréquence d'intérêt est étendu, ce qui peut conduire à des maillages très fins et à des temps de calculs prohibitifs. La capacité et les limites des méthodes classiques pour décrire le rayonnement acoustique (éléments finis de frontière, éléments infinies, PML, etc) seront étudiés lors de la 1^{er} année. Afin d'étendre le domaine de fréquence de calcul, on pourra être amené à développer un processus de calcul non standard. On cherche par exemple à quantifier l'effet de masse ajoutée par le fluide sur les modes propres de la structure en considérant le fluide incompressible [7], [8]. L'effet résistif du fluide pourra alors être pris en compte par une méthode intégrale basée sur un maillage plus grossier qu'avec un calcul direct [9],[10].

Déroulement prévu :

Le déroulement envisagé comporte les phases suivantes :

- Première année :
 - o Recherche et analyse bibliographique sur les bruits d'origine hydrodynamique et les techniques de modélisation, en vue de leur application à l'hydrolienne,
 - o Recueil d'informations sur le système à étudier,
 - o Appropriation des méthodes et modèles prédictifs.
 - o Estimation de l'ordre de grandeur des différents phénomènes,
- Deuxième année :
 - o Développement des méthodes en menant en parallèle les aspects basses fréquences (fréquences de passage de pale et harmoniques) et les phénomènes bande large (bord de fuite et rayonnement des pales).
 - o Validation des modèles sur des cas tests académiques
- Troisième année :
 - o Application au cas des hydroliennes, quantification des niveaux de bruit des différents phénomènes, étude paramétrique.
 - o Confrontation à des résultats expérimentaux (en tenant compte du fait que seuls les bruits hydrodynamiques sont pris en compte ici).

Références bibliographiques :

- [1] M. Roger & S. Moreau - Back-Scattering Correction and Further Extensions of Amiet's Trailing Edge Noise Model. Part1: Theory, J. Sound Vib. vol. 286, pp. 477-506, 2005.
- [2] S. Moreau & M. Roger - Back-scattering correction and further extensions of Amiet's trailing-edge noise model. Part II: Application, J. Sound Vib. vol. 323, pp. 397-425, 2009.
- [3] M. Roger - Broadband noise from lifting surfaces, analytical modeling and experimental validation. In: Noise sources in turbulent shear flows: fundamentals and applications, CISM series 545, edited by R. Camussi, Springer, p. 289-344, 2013.
- [4] F. Chevalier, B. Sausseureau and E. Honoré. Numerical Approach for Propeller Blade Vibration Noise Prediction. Conference MARNNAV, 2012.
- [5] L. Maxit, M. Berton, C. Audoly, D. Juve, Flow Induced Noise and Vibration Issues, Chap. III.2, Prediction of flow induced sound and vibration: discussion about different methods for introducing the TBL excitation in the vibro-acoustic model, Ed. Springer, 2015. ISBN 978-3-319-09712-1.
- [6] M. Berton, Modélisation de la réponse vibro-acoustique d'une structure excitée par une couche limite turbulente en présence d'un gradient de pression statique, Thèse Ecole Centrale de Lyon n°36-2014, Ecully, 2014.

- [7] C. Conca, J. Planchard, B. Thomas, M. Vanninathan, Problèmes mathématiques en couplage fluide/structure, Ed. Eyrolles, Paris, 1994
- [8] V. H. Vu, M. Thomas, A. A. Lakis, & L. Marcouiller, Effect of added mass on submerged vibrated plates, in Proceedings of the 25th Seminar on Machinery Vibration, Saint-Jean, Nouveau-Brunswick, 2007, p. 40.1-40.15
- [9] A.J. Burton, G.F. Miller : The application of integral equation methods to the numerical solution of some exterior boundary-value problems. In Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1971.
- [10] L. Maxit, M. Aucejo, J.L. Guyader, Improving the Patch Transfer Function approach for fluid-structure modeling in heavy fluid, *J. Sound Vib.*, vol. 134, 2012.

Contacts :

Céline ROUSSET
DCNS Research - Le Mourillon
Département Acoustique, Centre d'Etude pour la Maitrise de l'Information et des Signatures
BP 403, 83055 Toulon
Tel. : 06 07 12 26 75
celine.rousset@dcnsgroup.com

Michel ROGER
LMFA, Centre Acoustique, UMR CNRS 5509
36 Avenue Guy de Collongue
69134 Ecully Cedex
michel.roger@ec-lyon.fr

Laurent MAXIT
Laboratoire Vibrations-Acoustique - INSA Lyon
25 bis, av. J. Capelle
F-69621 Villeurbanne Cédex
Tel. : 04 72 43 62 15
laurent.maxit@insa-lyon.fr

L