



HAL
open science

Étude modale numérique et expérimentale d'une hélice marine

Christelle Devic, Jean-François Sigrist, Christian Lainé, Pascal Baneat

► **To cite this version:**

Christelle Devic, Jean-François Sigrist, Christian Lainé, Pascal Baneat. Étude modale numérique et expérimentale d'une hélice marine. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01812996

HAL Id: hal-01812996

<https://hal.science/hal-01812996v1>

Submitted on 12 Jun 2018

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.

Public Domain

Etude modale numérique et expérimentale d'une hélice marine

Christelle Devic* — **Jean-François Sigrist*** — **Christian Lainé***
Pascal Baneat**

** Service Technique et Scientifique
DCN Propulsion
44620 La Montagne
jean-francois.sigrist@dcn.fr*

*** Groupe Bruit Vibrations
DCN Propulsion
44620 La Montagne*

RÉSUMÉ. Le présent article propose une analyse modale numérique et expérimentale réalisée sur une hélice marine, en air et en eau. L'étude expérimentale utilise deux méthodes d'analyse : accélérométrie et vibrométrie laser. La méthode d'accélérométrie est utilisée pour les mesures en eau et en air, la méthode de vibrométrie est mise en œuvre pour les mesures en air uniquement. L'étude numérique est conduite en utilisant un code de calcul éléments finis généraliste. Une méthode de couplage éléments finis/éléments finis est proposée pour modéliser le système couplé fluide/structure, avec une formulation non symétrique en pression/déplacement. Une comparaison des résultats numériques et expérimentaux est alors proposée.

ABSTRACT: The present papers deals with a numerical and experimental analysis on a propeller, in vacuum and in water. The experimental results are obtained with two different methods: accelerometry and laser vibrometry. The former is used for frequency measurement in air and water, whereas the latter is only used in air. The numerical results are deduced from a finite element approach of the coupled problem with a non symmetric pressure/displacement formulation. Numerical and experimental results are compared and discussed.

MOTS-CLÉS : Analyse modale, Interactions fluide/structure, Masse ajoutée, Vibrométrie, Accélérométrie

KEYWORDS: Modal analysis, Fluid-Structure Interaction, Added Mass, Vibrometry, Accelerometry

1. Introduction

Lorsqu'une structure élastique vibre au contact d'un fluide sans écoulement, l'effet du fluide sur la dynamique de la structure se traduit par un phénomène de *masse ajoutée*, caractérisé par une baisse plus ou moins significative des fréquences propres de la structure couplée (Axisa, 2001). Cet effet de masse ajoutée peut être évalué dans des cas simples au moyen de formules analytiques (Blevins, 1984) ; dans des cas plus complexes, un calcul numérique de la masse ajoutée est alors nécessaire.

Les techniques numériques basées sur une discrétisation de type éléments finis permettent de résoudre les équations de problèmes d'interactions fluide/structure (Morand-Ohayon, 1995) ; ces méthodes sont applicables avec des codes de calcul généralistes. Dans un précédent travail, nous nous sommes intéressés à la validation du code de calcul Ansys en mettant en œuvre des calculs couplés sur un cas élémentaire (Sigrist et al., 2002). Nous poursuivons dans le présent article cette démarche de validation en proposant une corrélation calculs/essais dans le cadre de l'analyse modale numérique et expérimentale d'une hélice marine.

2. Etude expérimentale

L'étude modale expérimentale utilise deux techniques d'analyse :

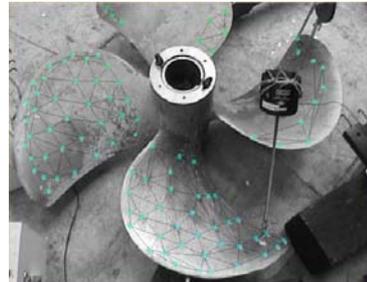
- méthode d'*accélérométrie* : l'hélice est instrumentée au moyen de capteurs d'accélération (voir figure 1). L'analyse spectrale de la fonction de transfert entre le signal d'excitation généré par un pot vibrant et le signal d'accélération mesuré en différents points du maillage de la structure par accéléromètres permet de déterminer les fréquences propres et les modes propres du système ;
- méthode de *vibrométrie laser tridimensionnelle* : l'hélice est équipée avec des pastilles réfléchissantes (voir figure). L'analyse est basée sur une méthode optique utilisant l'effet Doppler (Camden-Simmons, 1998). La mesure de la différence de marche entre le rayon laser incident et le rayon réfléchi par une pastille permet de déterminer l'intensité de la réponse en vibration de la structure excitée par pot vibrant. L'analyse des signaux pour chaque point instrumenté permet d'obtenir une visualisation de la déformée de la structure (Sriram et al., 1992). Cette méthode nécessite l'utilisation de trois sources lasers (voir figure 1) afin d'obtenir une représentation tridimensionnelle des déformées modales.

Une première analyse modale est réalisée en air, en utilisant les deux méthodes, ce qui permet de valider la mise en œuvre de la méthode par vibrométrie laser sur un cas industriel. Une seconde analyse modale est conduite

en eau, en immergeant l'hélice dans un bassin d'essais (voir figure 2) ; dans ce cas, seule la méthode d'accélérométrie est utilisée.



Positionnement des accéléromètres



Positionnement des pastilles réfléchissantes



Sources laser pour analyse tridimensionnelle

Figure 1. *Etude vibratoire expérimentale. Méthode d'accélérométrie et de vibrométrie laser*



Bassin vide



Bassin plein

Figure 2. *Hélice dans le bassin d'essais*

3. Etude numérique

La modélisation d'ensemble du système couplé fluide/structure utilise une formulation en *déplacement* pour la structure (champ vectoriel \mathbf{u}) et en *pression* pour le fluide (champ scalaire p). La discrétisation de la formulation variationnelle correspondant au problème couplé avec une méthode de type éléments finis conduit au problème aux valeurs propres suivant (Morand-Ohayon, 1995) :

$$\left(-\omega^2 \begin{bmatrix} \mathbf{M}_S & \mathbf{0} \\ -\rho_F \mathbf{R} & \mathbf{M}_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_S & \mathbf{R} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_F \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \mathbf{U}(\omega) \\ \mathbf{P}(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \quad [1]$$

La méthode est mise en œuvre avec le code de calcul éléments finis Ansys. La modélisation du problème couplé fluide/structure est faite en couplant les éléments structure solid183, éléments finis tétraédriques quadratiques formulés en déplacement, et les éléments fluide fluid30, éléments finis tétraédriques linéaires formulés en pression (Khonke, 1986).

La figure 3 donne une représentation du maillage de l'hélice dans le cas de l'étude en vide du maillage d'une pale de l'hélice plongée dans le fluide environnant.

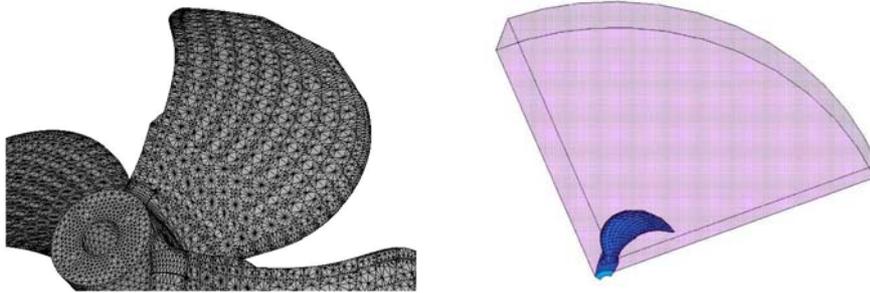


Figure 3. Maillage de l'hélice (calculs structure seule) et d'une pale d'hélice (calculs couplés fluide/structure)

Le problème aux valeurs propres posé par l'équation [1] est non symétrique. Le calcul des éléments propres est effectué en ayant recours à l'algorithme de Lanczos non symétrique (Rajakumar-Rogers, 1991); les temps de calculs associés sont assez conséquents (une centaine d'heures pour le calcul couplé, sur le modèle d'une pale d'hélice).

4. Comparaison calculs/essais

Les résultats expérimentaux de vibrométrie laser donnent des résultats identiques à ceux obtenus par accélérométrie, avec une précision comparable à celle donnée par d'autres auteurs (Castellini-Santollini, 1998). Le tableau 1 donne les résultats de mesure en air et en eau réalisés sur l'hélice complète et les résultats de calcul en vide et en fluide pour une pale d'hélice¹. La figure 4 donne une représentation du premier mode propre de la pale dans le vide et en fluide (mode de flexion). La comparaison des baisses en fréquences mesurées et calculées montre que les effets de masse ajoutée sont correctement décrits par le calcul numérique.

Mesures sur l'hélice entière		Calculs sur une pale d'hélice	
Air	Eau	Vide	Fluide
73 Hz	36 Hz (-50%)	67.70 Hz	35.99 Hz (-46%)
117 Hz	65 Hz (-45%)	114.77 Hz	67.19 Hz (-41%)
201 Hz	123 Hz (-40%)	188.66 Hz	124.60 Hz (-33%)

Tableau 1. Analyse modale expérimentale et numérique en air et en eau. Fréquences propres mesurées sur l'hélice et calculées sur une pale.

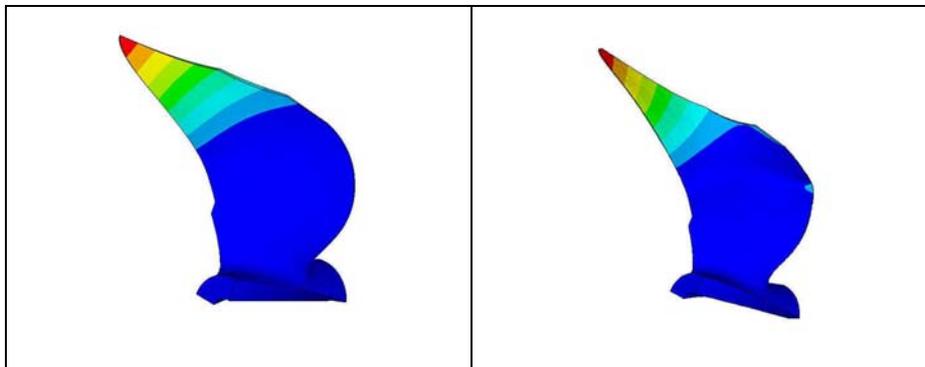


Figure 4. Déformée modale calculée pour une pale d'hélice en vide et en eau. Premier mode de flexion

Ces premiers calculs seront complétés par des calculs en vide et en fluide sur une hélice complète reproduisant l'essai expérimental.

¹ Les conditions aux limites n'étant pas identiques pour les mesures sur l'hélice et le calcul sur une pale, il s'agira de comparer la description des effets de masse ajoutée

5. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une analyse modale numérique et expérimentale d'une hélice marine en air et en eau. L'approche expérimentale a été réalisée avec deux méthodes de mesure (accélérométrie et vibrométrie laser) et a permis de valider le protocole expérimental de la méthode de vibrométrie laser tridimensionnelle. L'approche numérique a consisté à proposer un modèle éléments finis de l'hélice en eau et a permis de valider l'utilisation d'un code de calcul généraliste pour la modélisation numérique de problèmes couplés fluide/structure.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Philippe Frangeul et Christophe Gervot pour leur aide précieuse dans la conduite des essais de vibration et la réalisation des calculs modaux.

6. Bibliographie

- Axisa F., *Interactions fluide structure*, Hermès, 2001.
- Blevins R.D., *Formulas for Frequency and Mode Shape*, Robert. E. Kreieger Publishing Company, 1984.
- Camden M.D., Simmons; L.W., « Using a Laser Vibrometer for Monitoring Dynamic Strain, Modal Analysis, and Calculating Damping », *Proceedings of the SPIE, The International Society for Optical Engineering*, vol. 34, no. 37, pp. 311-318, 1998.
- Castellini P., Santolini C., « Vibration Measurements on Blades of a Naval Propeller Rotating in Water with Tracking Laser Vibrometer », *Measurement*, vol. 24, no. 1, pp. 43-54, 1998.
- Khonke P., *ANSYS Theory Reference Manuel*, Swanson Analysis System, 1986.
- Morand H. J.P., Ohayon R., *Fluid Structure Interaction*, Wiley & Sons, 1995.
- C. Rajakumar C., Rogers C.G., « The Lanczos Algorithm Applied to Unsymmetric Generalized Eigenvalue Problem », *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, vol. 32, pp.1009-1026, 1991.
- Sigrist J.F., Lainé C., Peseux B., « Calcul couplé fluide/structure avec ANSYS : étude numérique et expérimentale d'une plaque élastique en contact avec un fluide lourd compressible », *Journal de Physique*, vol. 12, pp. 137-144, 2002.
- Sriram P., Hanagud S., Craig J., « Mode Shape Measurement Using a Scanning Laser Doppler Vibrometer », *Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, vol.7, pp. 169-178, 1992.