

## **Etude de l'interaction entre un écoulement de couche limite instable et une structure déformable**

Type de contenu : Texte

Type de médiation : sans médiation

Type de support : Volume

Titre(s) : Etude de l'interaction entre un écoulement de couche limite instable et une structure déformable / Marie-Laure Gobert ; sous la direction de Uwe Ehrenstein, co-directeur Jacques André Astolfi

A pour autre édition sur un support différent : Etude de l'interaction entre un écoulement de couche limite instable et une structure déformable Marie-Laure Gobert

Auteur(s) : Gobert, Marie-Laure (1981-....)

Autre(s) auteur(s) : Astolfi, Jacques-André  
Ehrenstein, Uwe (1958-....)

Université de Nantes Faculté des sciences et des techniques

Université de Nantes 1962-....

École centrale de Nantes

École doctorale Sciences pour l'ingénieur, Géosciences, Architecture Nantes

Production : 2009

Description matérielle : 1 vol. (151 f.) : ill. ; 30 cm

Titre traduit ajouté par le catalogueur : Study of the interaction between an unstable boundary layer flow and a flexible surface : application to the prediction of the hydrodynamic noise on a sonar antenna eng

Autres classifications : 530

Note sur disponibilité : Publication autorisée par le jury

Note sur les bibliographies et les index : Bibliogr. f. 145-151.

Note de thèses et écrits académiques : Thèse de doctorat Dynamique des fluides et des transferts Nantes 2009

Résumé ou extrait : Ce travail, réalisé dans le cadre d'une convention de thèse Cifre avec Thales Underwater Systems, et cofinancé par DCNS, vise à améliorer la prédiction du bruit propre hydrodynamique d'une antenne sonar, dû aux fluctuations de pression dans la couche limite qui se développe le long du dôme. Les estimations de bruit reposent en général sur des modèles semi-empiriques

qui ne tiennent que partiellement compte de la flexibilité du dôme. La présente étude reconsidère le problème du bruit hydrodynamique dans le cas-type simplifié d'une couche limite instable le long d'une plaque plane élastique. La première partie du travail est consacrée à la simulation numérique directe d'un écoulement de couche limite bidimensionnel, caractérisé par un nombre de Reynolds hautement supercritique, le long d'une paroi élastique encastrée. La résolution des équations de Navier-Stokes incompressibles repose sur un changement de variables évolutif au cours du temps, associé à une discrétisation spatiale mixte différences finies – collocation Chebyshev. Une méthode de pas fractionnaire permet d'assurer un couplage fort entre le modèle de paroi élastique et le système fluide. Un forçage en vitesse est injecté dans ce dernier, à des fréquences instables et des amplitudes suffisamment élevées, afin de donner lieu à des instabilités convectives et saturées non linéairement, qui interagissent avec les mouvements de la paroi. Cette dernière vibre autour d'un état déformé initial résultant du couplage avec l'écoulement non perturbé. Des parois de longueurs et de matériaux variés ont été testées en vue de caractériser les vibrations, en termes de niveaux et de structures spatiales, ainsi que leur rétroaction sur les instabilités de l'écoulement, en fonction des valeurs des fréquences propres de la paroi. Dans les divers cas étudiés, on observe que le spectre de pression pariétale est enrichi par des composantes modales, à très bas nombres d'ondes et relativement hautes fréquences, qui peuvent donner lieu à un rayonnement plus important. Un post-traitement est mis en oeuvre afin d'estimer le bruit généré par les fluctuations de vitesse dans la couche limite. La pression rayonnée dans l'écoulement uniforme est évaluée à partir des données acquises au cours des simulations, dans le cadre de l'analogie de Lighthill. Le calcul, effectué dans le domaine spectral, repose sur l'utilisation d'une fonction de Green dont l'expression tient compte de la présence de la paroi souple. Dans cette approche, les vibrations de la paroi induisent à certaines fréquences, en particulier aux fréquences propres de la paroi, des niveaux de pression rayonnée supérieurs à ceux du cas rigide, en favorisant la présence de structures spatiales plus larges. D'autres modèles, élaborés à partir de la même formulation, mais tenant compte de la compressibilité de la couche limite dans le calcul des contributions vibratoires, mettent en évidence une nette augmentation des niveaux de pression rayonnée sur paroi souple dans une large gamme de fréquences, de part et d'autres des fréquences propres, lorsque ces dernières sont distinctes des fréquences de forçage, ainsi que l'apport de la prise en compte d'un couplage fort par rapport aux approches classiques basées sur une hypothèse de couplage faible. Enfin, une étude expérimentale en tunnel hydrodynamique est mise en place en vue de mesurer les vibrations d'une plaque élastique, encastrée dans un support rigide, et soumise à un écoulement transitionnel ou turbulent, ainsi que le bruit rayonné dans la cavité sous-jacente à la plaque, instrumentée avec un hydrophone. Les résultats de la campagne de mesures, qui repose sur les techniques de vibrométrie laser et de vélocimétrie laser Doppler, sont détaillés et analysés.

This work, supported by Thales Underwater Systems through a Cifre thesis grant, and by DCNS, aims at improving the prediction of the hydrodynamic self-noise of a sonar antenna, due to the pressure fluctuations in the boundary-layer flow that develops along the dome. Noise estimations are generally based on semi-empirical models, that take only partially into account the dome flexibility. The present study readdresses the issue of the hydrodynamic noise, in the simplified archetype case of an unstable boundary layer flow along an elastic flat plate. The first part of the study consists in the direct numerical simulation of a two-dimensional boundary layer flow, characterized by a highly supercritical Reynolds number, over an elastic clamped plate. The incompressible Navier-Stokes equations are solved by means of a time-dependent mapping, associated to a mixed finite differences – Chebyshev collocation spatial discretization. A fractional step method enables a full coupling between the plate model and the fluid system. A velocity forcing is introduced in the latter, at unstable frequencies and high amplitudes, in order to give rise to convective and non-linearly saturated instabilities, which interact with the plate motions. The latter vibrates around an initial bent state resulting from the coupling with the non perturbed

flow. Plates of various materials and lengths are tested, to characterize the vibrations, in terms of levels and spatial structures, as well as their retro-action on the flow instabilities, depending on the values of the plate natural frequencies. For the cases considered in the present investigation, we observe that the wall pressure spectrum possesses additional modal components, with very low wavenumbers and relatively high frequencies, which may give rise to increased radiation. A post-treatment is implemented to estimate the noise generated by the boundary layer velocity fluctuations. The radiated pressure in the uniform flow domain is evaluated from the simulation data in the framework of the Lighthill's analogy. The calculations are performed in the spectral domain, using an appropriate Green function whose expression takes into account the presence of the elastic plate. In this approach, the plate vibrations induce at some frequencies, including the plate natural frequencies, higher radiated pressure levels than in the rigid case, by favouring larger spatial structures. Additional models, derived from the same formulation, but taking into account the boundary layer compressibility in the computation of the vibratory contributions, highlight a clear increase in the radiated pressure levels in a wide frequency range around the plate natural frequencies, when the latter are distinct from the forcing frequencies, as well as the benefit from considering a full coupling in comparison to classical approaches based on a weak coupling assumption. Finally, the fluid-structure system is investigated experimentally using a hydrodynamic tunnel setup, in order to measure the vibrations of an elastic clamped plate triggered by a transitional or turbulent boundary layer flow, as well as the radiated noise in the cavity beneath the plate, which is equipped with a hydrophone. The measurements, acquired using laser vibrometry and laser Doppler velocimetry, are detailed and analysed.

Sujet(s) : Bruit propre hydrodynamique

Vibrométrie laser

Sujet - Nom commun : Interaction fluide-structure

Couche limite

Simulation par ordinateur

Forme, genre ou caractéristiques physiques : Thèses et écrits académiques