

Thèse de doctorat

Interaction Fluide Structure instationnaire sur surfaces souples - Application aux voiles de bateau

Laboratoire d'accueil : Institut de Recherche de l'Ecole Navale EA 3634, noté A par l'agence d'évaluation AERES

Encadrement : Jacques-André ASTOLFI et Patrick BOT

L'IRENav (Institut de Recherche de l'Ecole Navale) recherche un(e) candidat(e) pour effectuer une thèse de doctorat financée par Brest Métropole Océane sur le projet *VOILENAV*. Le travail de thèse concerne l'aérodynamique des voiles de bateau et en particulier l'Interaction Fluide Structure du système aéro-élastique composé du gréement et des voiles, à l'aide de mesures en mer sur un voilier instrumenté et de simulations numériques. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration industrielle avec un concepteur/fabricant de voiles et des bureaux d'étude dans le domaine du nautisme, et académique avec l'Ecole Centrale de Nantes (projet de R&D en cours de montage). De plus, une étroite collaboration avec le Yacht Research Unit de l'Université de Auckland (référence mondiale dans le domaine), financée par un projet européen, permettra au/à la doctorant(e), s'il/elle le souhaite, de mener une partie de ses travaux de thèse au YRU, Auckland.

Pour plus de détail sur le sujet et le contexte, voir le projet de recherche ci-dessous et les références bibliographiques incluses.

Le/la candidate devra être titulaire d'un diplôme de master ou d'école d'ingénieur ou équivalent et avoir des compétences parmi les suivantes : mécanique des fluides, mécanique des structures, architecture navale, instrumentation embarquée, calcul scientifique, analyse de signal, voile. La pratique de la voile de compétition sera un avantage important, ainsi qu'un bon niveau d'anglais.

Mots clés : Interaction fluide structure, aéroélasticité, dynamique des voiles, mesures en mer, simulations numériques

Début de la thèse : automne 2013, pour 3 ans

Date limite de candidature : 25 juin 2013 (prendre contact le plus tôt possible)

Envoyer CV, lettre de motivation et de recommandation par mail à Patrick Bot : patrick.bot@ecole-navale.fr, 02 98 23 39 86

Projet de recherche et réseau

L'IRENav développe des activités de recherche en interaction fluide structure (IFS) et notamment sur la simulation de l'interaction entre un écoulement et des surfaces souples soumises à déformations et grands déplacements. Des modèles instationnaires sont développés en partenariat avec la société K-Epsilon et l'École Centrale de Nantes avec comme application principale la simulation de la dynamique du voilier, et en particulier la modélisation du comportement aéro-élastique du gréement et des voiles de bateau dans le but de créer un outil d'aide à la conception et à la performance.

Il est à noter que la simulation du problème dynamique couplé fluide structure des voiles de bateau constitue un progrès notable par rapport à l'état de l'art des recherches dans le domaine. A notre connaissance, il n'existe pas d'autre modèle que ceux que nous développons capables de simuler ce problème en régime instationnaire. Or l'expérience des professionnels du domaine – navigants et concepteurs – ainsi que nos premières campagnes de mesure en navigation montrent l'importance de considérer l'aspect dynamique du problème lié aux mouvements du voilier induits par les vagues, aux variations du vent et aux actions de l'équipage.

Le projet de recherche vise à une meilleure compréhension de la dynamique du voilier et à la validation de ces outils numériques par comparaison entre les résultats de simulation et des mesures expérimentales, à l'aide, (i) de mesures embarquées sur un voilier en conditions réelles de navigation, et (ii) de mesures sur des expériences plus académiques et mieux contrôlées en laboratoire. Pour développer une compétence de pointe dans le domaine, il s'agit de poursuivre le développement des modèles numériques et de les valider de façon précise et la plus complète possible afin d'aboutir à des outils de simulation opérationnels et fiables d'aide à la conception et d'optimisation des performances. D'autre part, la diffusion de ces outils nécessite leur intégration dans les logiciels de CAO utilisés par les maîtres voiliers ou leur interfaçage avec les outils existants. Cette phase « d'industrialisation » ne peut se faire sans l'appui d'une grande voilerie sur un cas concret.

Cette thèse fait partie d'un projet collaboratif de recherche et développement en cours de montage au Pôle de compétitivité Mer Bretagne pour rechercher des financements complémentaires qui pourront supporter les travaux de thèse proposés. Le partenariat fort avec un fabricant de voiles et des bureaux d'étude dans le domaine du nautisme permettra de diffuser l'intérêt de ce type d'outil d'aide à la conception des voiles à travers l'expérience acquise dans le secteur industriel. Il permettra également de valoriser les avancées académiques par le développement d'outils innovants utilisables (aide à la conception), de confronter ces avancées aux réalités du terrain, de les poursuivre grâce à de nouvelles problématiques apportées par les utilisateurs, de proposer de nouveaux concepts.

De plus, l'IRENav a obtenu avec la School of Marine Science and Technology de l'Université de Newcastle et le Yacht Research Unit de l'Université d'Auckland un projet européen FP7 (IRSES Scheme-staff exchange, 2012-2016) pour mutualiser les compétences et les moyens expérimentaux des trois groupes sur ce sujet. Ce projet finance des échanges de personnels entre les trois institutions et permettra en particulier au/à la doctorant(e) de réaliser une partie de ses travaux au Yacht Research Unit d'Auckland. Cette collaboration offrira au/à la doctorant(e) une opportunité incomparable d'acquisition de compétences et d'ouverture professionnelle ultérieure car ce groupe est le plus actif internationalement dans le domaine, tant au point de vue de la recherche que des développements industriels.

Des applications de ces travaux dans des domaines autres que le secteur du nautisme sont également envisagées. En particulier ces travaux permettront de dimensionner des cerfs-volants pour l'aide à la propulsion des navires (projet Haliuekite en cours à l'IRENav : évaluation de l'économie de carburant réalisable sur les navires de pêche par l'utilisation de cerfs-volants) ou des conduites souples actuellement à l'étude pour la conduite d'eau froide d'installation d'Energie Thermique des Mers. D'autres secteurs industriels utilisant des structures souples (bâches, voiles, parachute, ancre flottante...) bénéficieront également de l'avancée de ces travaux.

Enfin, l'IRENAV est co-organisateur de la conférence *INNOV'SAIL, International Conference on Innovation in High Performance Sailing Yachts*, rassemblement scientifique et technique parmi les trois conférences majeures du domaine de la voile (avec HPYD, Auckland NZ et CSYS, Annapolis USA), et dont la 3^{ème} édition se tiendra à Lorient du 26 au 28 juin 2013.

Programme de travail

Un dispositif expérimental original de mesures embarquées sur un voilier a été développé dans le cadre de la thèse de Benoit Augier (2009-2012).

Le dispositif expérimental du voilier instrumenté est constitué des éléments suivants :

- 16 capteurs d'efforts HBM : mesure des forces appliquées sur tous les haubans et tous les points du gréement courant qui agissent sur les voiles
- 4 caméras: film des voiles munies de lignes de visualisation pour mesurer leur forme par traitement d'image
- 1 centrale d'attitude XSens : mesure des mouvements et attitudes du bateau (gîte, assiette, cap)
- 1 capteur de vent à ultrason : mesure des trois composantes du vecteur vent en tête de mât
- capteurs des paramètres de navigation (compas, loch, GPS, capteur de longueur d'écoute, capteur d'angle de barre)
- système d'acquisition développé sous RTMaps sur un PC portable : acquisition multivoies temps réel avec datation précise de chaque mesure

Des campagnes de mesure ont été réalisées à l'aide de ce système pour le cas de la navigation au près (angle d'incidence et courbure des voiles modérés). Les résultats de ces études ont permis la validation des modèles numériques en fluides parfait [Augier *et al.* 2012, Augier *et al.* 2013], en régime stationnaire et en régime dynamique constitué par un mouvement de tangage par houle de face. En particulier, les confrontations entre les simulations et les expériences donnent des résultats très proches, aussi bien pour les formes des voiles en navigation que pour les efforts appliqués aux divers points mesurés.

Un premier objectif de cette thèse consiste à approfondir cette démarche de validation en perfectionnant le système d'instrumentation, en réalisant d'autres campagnes d'essais et en poursuivant l'analyse des données pour caractériser de façon précise le comportement dynamique du système aéro-élastique constitué du plan de voilure soumis au vent et aux mouvements du bateau. De plus, pour une validation plus fine des modèles numériques, le système expérimental sera étendu à des mesures de pression pariétale sur les voiles, en collaboration avec le Yacht Research Unit de l'université d'Auckland qui a développé un dispositif expérimental original de mesure de pression sur les voiles [Motta *et al.* 2013].

Les travaux menés jusqu'à maintenant ont concerné le cas de la navigation au près pour lequel l'écoulement du vent sur les voiles est simulé correctement par un modèle de fluide parfait (angle d'incidence et courbure modérés, écoulement majoritairement attaché). Le deuxième objectif de cette thèse consiste à étendre ces travaux au cas de la navigation au portant qui présente nettement plus de difficultés : (i) l'écoulement fortement décollé sur les voiles creuses impose un modèle de fluide visqueux beaucoup plus lourd en calcul [Durand 2012] ; (ii) les voiles beaucoup plus creuses et légères imposent de nouvelles méthodes de détermination de leur forme et des efforts. Un effort particulier doit être porté sur le développement de capteurs sans fils dont la datation de la mesure reste un problème à l'heure actuelle due à la transmission HF.

Références récentes (disponible sur demande)

Augier B., Bot P., Hauville F., Durand M., 2012, "Experimental validation of unsteady models for fluid structure interaction: Application to yacht sails and rig". *J. Wind Engng and Ind. Aero.*, **101**, 53-66

Augier B., Bot P., Hauville F., Durand M., 2013, Dynamic Behaviour of a Flexible Yacht Sail Plan, Ocean Engineering, accepté le 30 mars 2013, DOI : 10.1016/j.oceaneng.2013.03.017

Augier B., 2012, Etudes expérimentales de l'Interaction Fluide Structure sur surfaces souples – Application aux voiles de bateau, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale

Durand M., 2012, Interaction fluide-structure souple et légère, applications aux voiliers, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes

I.M. Viola, P. Bot, M. Riotte, 2013, On the Uncertainties of CFD in Sails Aerodynamics, International Journal for Numerical Methods in Fluids, accepté le 16/01/2013, DOI: 10.1002/flid.3780

Viola I.M., Bot P., Riotte M., 2012, Upwind Sail Aerodynamics: a RANS Numerical Investigation Validated with Wind Tunnel Pressure Measurements, International Journal of Heat and Fluid Flow, **39**, pp. 90-101 (DOI : 10.1016/j.ijheatfluidflow.2012.10.004

Bot P., Viola I.M., Flay R.G.J., 2013, Wind Tunnel Pressure Measurements on Model-scale Semi-rigid Downwind Sails, the 3rd Conference on Innovation in High Performance Sailing Yachts INNOV'SAIL, Lorient, France, 26-28 juin

Motta D., Flay R.G.J., Richards P.J, Le Pelley D.J., 2013, Experimental investigation of Asymmetric Spinnaker Aerodynamics Using Pressure and Sail Shape Measurements, the 3rd Conference on Innovation in High Performance Sailing Yachts INNOV'SAIL, Lorient, France, 26-28 juin