

Proposition de sujet de thèse :

Couplage numérique-expérimental par les méthodes adjointes pour l'ingénierie du vent

Sujet :

Dans le domaine de l'ingénierie du vent pour la construction, l'évaluation des charges au vent sur les Grands Ouvrages tels que les Immeubles de Grande Hauteur ou les stades sont d'une importance majeure pour leur dimensionnement. La donnée d'entrée de ce dimensionnement est le coefficient de pression exercé par le vent sur les façades. Il peut être obtenu soit par une expérience en Soufflerie à Couche Limite Atmosphérique soit par Simulation Numérique en Mécanique des Fluides (CFD Computational Fluid Dynamics).

Le vent est par nature turbulent, et il est essentiel de pouvoir reproduire son instationnarité afin de mesurer au mieux les pressions de pointes exercées sur les façades des Grands Ouvrages. Cette caractéristique peut rapidement devenir un facteur limitant pour l'approche numérique. En effet, la description instationnaire de l'écoulement du vent autour de ces ouvrages nécessite la mise en œuvre de simulations spécifiques. Les approches LES (Large Eddy Simulation) ou les approches hybrides SRS (Scale-Resolved Simulation) sont typiquement appropriées. Elles requièrent néanmoins à la fois des grilles de calcul particulièrement denses et des pas de temps faibles afin de décrire avec précision les principales échelles spatio-temporelles de l'écoulement. Ces simulations CFD instationnaires deviennent alors très rapidement coûteuses en temps CPU. La soufflerie reste alors le moyen le plus fiable d'estimer ces efforts de pointes. La simulation numérique demeure cependant très intéressante pour apporter des informations complémentaires quant à la structure de l'écoulement et son lien aux champs de pression en surface.

Le CSTB plébiscite alors des approches couplées numérique/expérimentale qui permettent d'obtenir une bonne précision des charges au vent combinée à une compréhension fine de la structure de l'écoulement. Ceci étant, ce couplage est « faible », s'entend limité à de simples comparaisons entre les champs de pression ou de vitesse mesurés, au mieux à un recalage des calculs via une optimisation des conditions aux limites d'entrée des simulations à partir des mesures en soufflerie.

Afin d'obtenir un couplage plus « fort », il est envisagé dans le cadre de ces travaux d'utiliser les méthodes de contrôle optimal, plus communément appelées méthodes « adjointes ». Ces méthodes sont de plus en plus utilisées dans le domaine de l'ingénierie pour coupler des données avec des codes de Mécanique des Fluides. L'idée est de résoudre un problème d'optimisation d'écoulement en utilisant l'adjoint des équations de Navier-Stokes pour trouver directement une solution au problème, sans processus d'itération du type plan d'expérience, algorithmes génétique, etc... Ces méthodes sont notamment utilisées pour limiter les pertes de charges en conduite ou analyser les sensibilités de la forme de la carrosserie dans le cadre d'une optimisation de la trainée aérodynamique d'un véhicule.

IRSTEA et INRIA de Rennes, regroupés au sein de l'équipe projet Fluminance, développent également ces méthodes pour faire de l'optimisation de mesures comme par exemple de l'interpolation de données manquantes. Cette interpolation ne se fait pas alors sur une simple pondération des valeurs locales, mais sur un contrôle optimal d'un système considérant les valeurs mesurées et gouverné par les équations de Navier-Stokes

Cette méthode est particulièrement intéressante dans la perspective d'un couplage « fort » entre les simulations numériques et les mesures en soufflerie atmosphérique. L'idée est alors d'effectuer un premier calcul RANS du champ de pression sur un bâtiment qui est testé en parallèle en soufflerie. Ce calcul RANS permettrait d'avoir une première estimation du champ de pression sur l'enveloppe du bâtiment. Les méthodes inverses seraient alors utilisées « pour optimiser » le calcul RANS à partir de valeurs de pressions ponctuelles effectuées dans la soufflerie atmosphérique.

Les approches RANS sont toujours privilégiées pour les simulations « industrielles ». Elles permettent d'obtenir une représentation assez fidèle de l'écoulement avec un coût beaucoup moins prohibitif que les simulations instationnaires type LES ou SRS. Ceci étant, les modèles de turbulence sont moins performants dans certaines configurations d'écoulement. Un écueil notable dans l'ingénierie du vent est l'estimation des pressions d'arrachement exercées sur des toitures planes. En effet les approches RANS, en particulier celles basées sur une approche à deux équations, ne permettent pas de reproduire la redistribution des contraintes turbulentes sur le gradient de pression.

La finalité des travaux de cette thèse est alors de vérifier si un calcul RANS, optimisé par des méthodes adjointes à partir de mesures en soufflerie, apporte des informations tout aussi pertinentes que celles issues d'une simulation aux grandes échelles. Ainsi la « rentabilité » d'une simulation RANS associée à des mesures en soufflerie serait au moins aussi intéressante que celle d'un calcul LES, à la fois tant en terme de fiabilité de résultats que de représentation et analyse de l'écoulement. Le calcul permettrait alors d'extrapoler les valeurs mesurées de pression sur l'ensemble de l'enveloppe (et non simplement où se trouvent les prises de pression) et d'apporter une interprétation pertinente des variations du champ de pression par rapport à la structure de l'écoulement.

La méthodologie serait appliquée au cas d'une toiture de stade pour laquelle le CSTB dispose d'ores et déjà d'une base de données expérimentale conséquente. Cette configuration fera par ailleurs l'objet de travaux de thèse complémentaires étudiant l'impact de la modélisation de la turbulence sur la réponse structurelle de la toiture.

Profil recherché :

Etudiant(e) en fin de cycle d'école d'ingénieur ou master 2 à dominante Mécanique des Fluides ou Mathématiques Appliquées : ISAE, ENSEEIHT, ENSIMAG, MatMeca...

Localisation et encadrement:

L'Etudiant(e) sera basé(e) sur Rennes auprès de l'équipe Fluminance (équipe mixte INRIA-IRSTEA) avec des périodes d'immersion au CSTB de Nantes (division Modélisation Numérique de la Direction Opérationnelle Climatologie Aérodynamique Pollution Epuration) . L'Etudiant(e) sera encadré(e) par Dominique Heitz et Etienne Memin du côté de l'équipe Fluminance et Sylvain Aguinaga du côté du CSTB

Rémunération :

2100€/mois brut

Contact : sylvain.aguinaga@cstb.fr