

Titre :

Thèse CIFRE

Recalage robuste de modèles couplés multi-physiques et stochastiques en dynamique à partir de données in situ – application à l'éolien offshore

Laboratoire

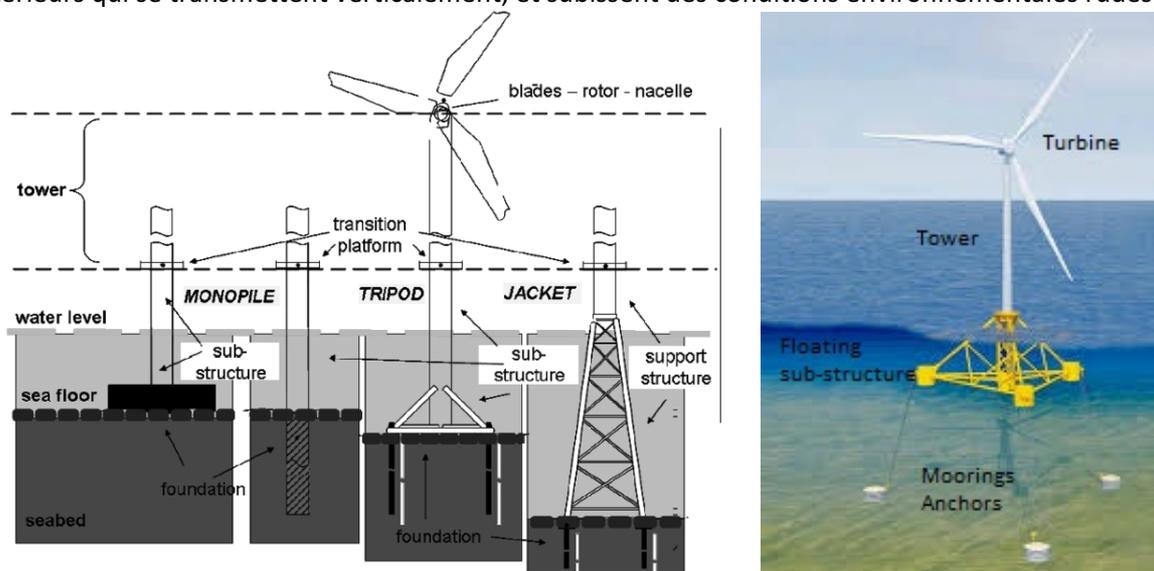
LMT (Laboratoire de Mécanique et Technologie), ENS Paris-Saclay

Encadrement Industriel

EDF R&D (Département ERMES)

1. INTRODUCTION

Afin de contribuer à rendre l'éolien offshore compétitif, il est nécessaire de garantir et éventuellement d'étendre la tenue des structures qui seront installées en mer pour soutenir les turbines. L'attention est portée en particulier sur les sous-structures et fondations offshore, qui font le lien entre l'ensemble turbine-tour et le fond marin, car elles perçoivent les effets de tous les chargements extérieurs qui se transmettent verticalement, et subissent des conditions environnementales rudes.



Les modèles utilisés pour la représentation de ces structures prennent en compte des modélisations couplées de plusieurs interactions multi-physiques (aérodynamique, hydrodynamique et structurale) et peuvent être enrichis par la connaissance des conditions réelles de vie afin de mieux caractériser les phénomènes effectivement rencontrés sur site. En effet, ces modèles d'ingénierie présentent de nombreux paramètres incertains ou variables au cours du temps et les conditions environnementales ne sont pas connues exactement. A ces incertitudes s'ajoutent les contraintes d'accessibilité liées au milieu marin, qui ne permettent pas d'effectuer des opérations sur les éoliennes aussi facilement que sur terre, ni d'observer facilement les composants submergés. Pour ces raisons il est utile d'instrumenter les structures afin de pouvoir observer leur évolution à distance et il est nécessaire de savoir correctement exploiter les données qui sont recueillies, afin de les utiliser pour :

- suivre l'évolution de la tenue de la structure au cours du temps (« jumeau numérique » pour orienter les actions de maintenance, si nécessaire)
- à plus long terme, ré-évaluer la durée de vie restante de la structure et éventuellement prolonger son utilisation au-delà de sa durée de vie initialement prévue.

Il n'existe toutefois pas aujourd'hui de méthode numérique permettant d'effectuer cette assimilation sur des phénomènes qui sont à la fois complexes et stochastiques. L'incertitude en jeu se retrouve sur plusieurs fronts : les paramètres propres du modèle, les conditions aux limites et le bruit de mesure.

-	Recalage robuste de modèles couplés multi-physiques et stochastiques en dynamique à partir de données in situ – application à l'éolien offshore	Page 2/3
---	--	----------

2. OBJECTIFS DE LA THESE

L'objectif général de la thèse est donc de proposer une méthode robuste pour l'assimilation des données disponibles sur le parc éolien d'EDF, à partir de modèles numériques et de données *in situ*. Le cadre d'application concerne les modèles de dynamique vibratoire utilisant des données de systèmes en service. Il est alors nécessaire d'aborder trois problématiques scientifiques :

- (1) rendre robuste la méthode de recalage pour les problèmes multi-physiques comportant de nombreux paramètres, avec des mesures peu nombreuses et fortement bruitées, typiques de l'éolien offshore ;
- (2) adapter cette méthode aux incertitudes sur l'environnement et les conditions limites (interactions avec le sol, paramètres variables avec le temps...), et aux aspects multi-physiques en dynamique ;
- (3) définir la précision du modèle à la quantité et au contenu des données expérimentales disponibles (approche multi-fidélité), à partir de modèles de base rudimentaires (poutres), et enrichir un modèle biaisé pour qu'il reste compatible avec la physique observée.

Pour aborder ces trois points, le sujet de thèse propose de mettre en œuvre le concept d'erreur en relation de comportement modifiée (mCRE), qui favorise les informations fiables du problème (équations d'équilibre, position des capteurs,..) et relâche les informations moins fiables (comportement du matériau, conditions limites, valeurs mesurées,...). L'utilisation de la fonctionnelle mCRE permet aussi naturellement d'avoir accès à un indicateur d'erreur de modèle. Une approche adaptative pour la sélection de modèle, parmi une hiérarchie de modèles disponibles (modèle poutre, modèle éléments finis plus raffiné,...), peut alors être facilement menée ; elle permet de cibler des modèles relativement grossiers mais suffisamment précis dans le cas où l'information expérimentale est limitée. De plus, il est envisagé de coupler cette approche avec un enrichissement du modèle par les données, afin de corriger les biais de modèle.

Les actions suivantes seront mises en œuvre pendant la thèse :

1. Etude du design d'un parc éolien et analyse des données de mesure. Identification des zones critiques dans la structure et des limites actuelles des modèles de données.
2. Développement du concept mCRE dans le cadre des modèles éoliens comportant des interactions fluide-structure, des interactions sol-structure et un nombre important de paramètres d'entrée.
3. Complexification de la modélisation en fonction des phénomènes physiques identifiés comme les plus influents sur la durée de vie de la structure.
4. Intégration de l'aspect stochastique pour représenter plus efficacement les variabilités liées à l'environnement.
5. Validation du modèle et de la méthode grâce à une sous-partie des données de site ; mise en application pour la ré-actualisation de durée de vie de l'éolienne sur le site considéré.

3. CONTEXTE DE TRAVAIL ET COMPETENCES RECHERCHEES

Le/a doctorant/e sera amené/e à travailler dans un contexte de recherche industrielle et sera accompagné/e dans ses travaux par le Laboratoire de Mécanique et Technologie de l'ENS Paris-Saclay. Il/elle sera complètement intégré/e aux équipes d'EDF Recherche et Développement et ses travaux de thèse seront valorisés auprès d'EDF Renouvelables qui s'occupe du développement des projets éoliens du groupe.

Le profil recherché est le suivant:

- connaissances avancées en mécanique des structures, méthodes numériques pour l'ingénieur, et mathématiques appliquées

-	Recalage robuste de modèles couplés multi-physiques et stochastiques en dynamique à partir de données in situ – application à l'éolien offshore	Page 3/3
---	--	----------

- compétences en développement informatique (programmation C++)
- facilité à travailler en équipe, dans un contexte de recherche appliquée
- capacité à travailler sur des documents en anglais

4. REFERENCES

[ALL05] Allix O, Feissel P, Nguyen H, Identification strategy in the presence of corrupted measurements, *Engineering Computations*, 22(5-6):487–504 (2005)

[BON15] Bonnet M, Aquino W, Three-dimensional transient elastodynamic inversion using an error in constitutive relation functional, *Inverse Problems*, 31 :035010 (2015)

[FAV09] Faverjon B, Ladevèze P, Louf F, Validation of stochastic linear structural dynamics models, *Computers & Structures*, 87(13-14):829-837 (2009)

[MAR19] Marchand B, Chamoin L, Rey C, Parameter identification and model updating in the context of nonlinear mechanical behaviors using a unified formulation of the modified Constitutive Relation Error, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 345:1094-1113 (2018)

5. CONTACT

Ludovic Chamoin, ludovic.chamoin@ens-paris-saclay.fr

Nicolas Relun, nicolas.relun@edf.fr

Jean-Baptiste Le Dreff, jean-baptiste.le-dreff@edf.fr