

# Utilisation des métamodèles de Krigeage pour le dimensionnement en fatigue des structures éoliennes en mer

*Q. Huchet*

Dans le contexte actuel de transition énergétique, les acteurs de la production électrique (dont EDF) s'orientent de plus en plus vers les technologies "bas carbone", permettant de développer leur mix énergétique et d'assurer une production toujours plus respectueuse de l'environnement. Parmi l'ensemble des alternatives progressivement industrialisées au cours de ces dernières décennies, l'énergie éolienne voit son développement s'accélérer. De nouveaux projets voient le jour, notamment avec le développement de parcs éoliens posés en mer le long des côtes françaises.

Afin de garantir une sécurité maximale des installations vis-à-vis des défaillances mécaniques, les ingénieurs doivent mettre en place un ensemble de vérifications ayant pour but d'assurer l'intégrité structurelle pendant une durée de vie donnée. Cette étape, nécessaire à la certification et donc à l'industrialisation du projet, exige un investissement numérique important. Dans le cas particulier de l'estimation de l'endommagement à durée de vie, un ensemble complet d'analyses doit être effectué afin de simuler les réactions structurelles en différents points de la conception et ce, pour l'ensemble des conditions environnementales de chargement possibles (cas de charge). Au total, quelques milliers de simulations correspondant à l'ensemble des situations probables sont à prévoir pour la seule estimation de l'endommagement à durée de vie. De plus, la prise en compte des différents phénomènes physiques du problème (aérodynamique, hydrodynamique, mécanique élastique), ainsi que la considération des non-linéarités des réponses liées à l'asservissement de la turbine, impliquent l'utilisation de codes de résolution temporels et multi-physiques coûteux pour chacune des situations de chargement à simuler.

Afin de réduire l'investissement lié à l'estimation de cet endommagement, l'utilisation de méthodes numériques de substitution (également appelées métamodèles) est une alternative prometteuse. Ces méthodologies ont montré leur efficacité dans divers domaines de l'ingénierie permettant d'approcher, par diverses hypothèses statistiques, la réponse de modèles numériques en ne considérant qu'un nombre réduit de simulations.

Ce travail de thèse s'est focalisé sur le développement d'outils numériques pour le dimensionnement efficace des structures éoliennes en mer et plus particulièrement sur l'utilisation des métamodèles de Krigeage (ou méthode de régression par processus gaussien) pour l'estimation de l'endommagement mécanique. Sous certaines hypothèses, cette méthode de substitution se prête particulièrement bien à l'approximation des réponses de modèles physiques, notamment grâce à la mise en place facilitée d'architectures itératives d'enrichissement ("active learning strategy"). Deux domaines ont principalement été étudiés : l'estimation rapide des quantités d'endommagement structurel par le développement de la méthode "Adaptive Kriging for Damage Assessment" (AK-DA) et les possibilités d'utilisation de cette dernière dans le cadre d'études de la fiabilité conceptuelle au regard de la tenue à l'endommagement. L'applicabilité de ces méthodes a été illustrée via l'utilisation d'exemples numériques inspirés du contexte industriel et de ses contraintes.