Modèle stochastique pour la prédiction de la durée de vie d'adhésifs pour matériaux composites : application aux éoliennes offshore

Encadrants : Caroline Bauzet (LMA), Mitra Fouladirad (M2P2) et Frédéric Lebon (LMA).

Ce projet de post-doctorat a pour but de proposer des méthodes statistiques de prédiction de durée de vie de composants d'éoliennes en mer pour aider la prise de décision de maintenance. La prédiction de la durée de vie utile ou du niveau de dégradation des matériaux d'une éolienne est essentielle pour assurer un niveau de production d'énergie acceptable. Une prédiction pertinente est primordiale pour la planification des opérations de maintenance tout particulièrement lorsque ces matériaux sont utilisés dans des conditions environnementales extrêmes auxquelles sont soumises les éoliennes en mer. Il est très difficile de caractériser via un modèle physique déterministe l'évolution temporelle de l'indicateur de dégradation qui prend en compte tous les facteurs expérimentaux et environnementaux possibles. La modélisation stochastique du phénomène de dégradation en présence de mesures permettrait de proposer un modèle temporel prenant en compte les incertitudes liées à ces différents facteurs (voir [1-2]). Ce modèle pourrait être utilisé en amont et en aval. D'une part il permettrait de prédire le niveau de dégradation future pour une meilleure planification des opérations de maintenance. D'autre part, il permettrait d'intégrer les données de terrain et être mis à jour en fonction des conditions d'utilisation et environnementales afin de mieux estimer la durée de vie utile. Dans ce cadre nous allons étudier la modélisation statistique de la dégradation des colles (liaisons adhésives) utilisées sur les plateformes éoliennes en mer.

Les colles (liaisons adhésives) dans un parc éolien offshore sont capables de connecter, en remplacement des systèmes usuels de joints boulonnés ou rivetés, des éléments secondaires tels que des escaliers, des garde-corps, des portails et des panneaux d'étanchéités, et de répondre aux exigences de sécurité, de durabilité et d'économie. L'utilisation de matériaux composites polymères renforcés de fibres comme éléments structurel à la place de ceux traditionnellement utilisés comme l'acier ou le béton a de nombreux avantages, à savoir, une baisse de poids, un gain en malléabilité à la construction, une facilité de maintenance, moins de corrosion et un rapport résistance au poids élevé. Ces colles adhésives utilisées en mer sont soumises à des conditions environnementales hostiles, par exemple une forte hygrométrie (l'eau de mer et les vagues sont des facteurs majeurs de dégradation), le sel, le vieillissement et les vibrations (voir [3-5]). Afin d'optimiser leur utilisation et d'éviter une période d'indisponibilité (la période où due à la fatigue ou diverses raisons les colles ne remplissent plus leur mission de manière acceptable), la planification efficace des actions de maintenance a une grande importance. Pour ce faire, il est nécessaire d'être capable de prédire la durée de vie de ces colles. Ces éléments étant très récemment étudiés, il n'est donc pas possible de disposer d'une base de données sur les durées de ces derniers sur un parc éolien en mer. C'est pourquoi la prédiction de la durée de vie se basera sur l'étude de la dégradation de ces éléments. La fin de vie sera associée à un niveau de dégradation élevée et inacceptable où les éléments ne peuvent pas remplir leur mission correctement. L'étude de la dégradation nécessiterait d'étudier la fatigue ainsi que tous les autres facteurs de dégradation de ces éléments adhésifs dans le milieu marin. Les premiers modèles et analyses disponibles sans la prise en compte des conditions environnementales, concluent un comportement non linéaire de la dégradation. Ce comportement serait fortement impacté par les événements extrêmes et les conditions environnementales. Une modélisation exacte de ce phénomène et la prédiction de la durée de vie est très couteuse et voire impossible vue le nombre de variables inconnues dans le modèle.

Dans le but de prédire la durée de vie, un modèle statistique sera construit à partir des données de dégradation obtenues lors des tests accélérés. Les données sont obtenues dans le cadre du projet européen ASSO. Le modèle statistique proposé prendra en compte les conditions environnementales

et les phénomènes extrêmes. Ce modèle sera en mesure de prédire avec un certain niveau de confiance la durée de vie ou la durée de vie restante des colles. De plus, lorsqu'il est possible de récolter des mesures sur le terrain, en présence d'un modèle de dégradation, la prédiction de la durée de vie restante peut se faire en intégrant les informations d'utilisation récoltées via les mesures en-ligne.

Méthodologie employée :

- Transformation des données issues de tests accélérés pour obtenir des données de dégradation réelle
- Étude des propriétés statistiques des données
- Application d'une méthode de classification (clustering) afin de définir les différentes modes de sollicitations et conditions environnementales (s'il y a objet)
- Proposition des processus stochastiques candidats pour la modélisation de la dégradation (données temporelles)
- Intégration des variables représentant l'évolution des conditions environnementales ou les événements extrêmes
- Calibration des modèles et utilisation d'un outil statistique de sélection
- Validation du modèle en utilisant des données tests et d'apprentissage
- Prédiction de la durée de vie (atteinte d'un niveau dégradation élevée définie par les experts)
- Analyse de l'incertitude sur la prédiction de la durée de vie suivant les différentes conditions d'utilisation et environnementales
- Confronter le modèle aux nouvelles données et proposer une réflexion sur la transposition du modèle aux cas d'adhésifs un peu différents.

Profil du candidat :

- Une formation en méthodes statistiques ou en science des données sera requise.
- Une bonne expérience sur le logiciel R ou Python sera demandée.
- Des connaissances en processus stochastiques seront appréciées.
- Une appétence à la modélisation numérique sera appréciée.

Références

[1] Bauzet C., Bonetti E., Bonfanti G., Lebon F. and Vallet G. (2017) A global existence and uniqueness result for a stochastic Allen-Cahn equation with constraint, Mathematical Methods in the Applied Sciences, Volume 40, Issue 14.
[2] Le Son K. and Fouladirad M. and Barros A. (2012) Remaining useful lifetime estimation and noisy gamma deterioration process., Reliability Engineering and System Safety (2016), pp. 76-87
[3] Adams RD, Comyn J, Wake WC. Structural adhesive joints in engineering. London: Chapman and Hall; 1998
[4] Lamberti M, Maurel-Pantel A, Lebon, F, Ascione F. Cyclic behaviour modelling of GFRP adhesive connections by an imperfect soft interface model with damage evolution. Composite Structures 2022:279;114741.
[5] Fouchal F, Lebon F, Raffa ML, Vairo G (2014) An interface model including cracks and roughness applied to masonry. Open Civil Eng J 8(1):263–271