

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences pour l'Ingénieur

Spécialité : Energétique – Thermique - Combustion

Par

Ziad MAKASSI

Effect of bio-colonization on the thermal behavior of dynamic electrical cables of floating wind turbines

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 3 février 2023

Unité de recherche : Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes (UMR 6607)

Rapporteurs avant soutenance :

Jean-Luc HARION

Professeur de l'école des Mines, IMT Nord Europe (Douai), LGCgE

Tahar LOULOU

Professeur des Universités, Université de Bretagne Sud, IRDL, UMR CNRS UMR 6027

Composition du Jury :

Anne-Claire BENNIS

Professeur des Universités, Université de Caen Normandie, M2C CNRS UMR 6143

Dir. de thèse : Ahmed GUELED

Maitre de Conférences, Nantes Université, LTeN CNRS UMR 6607

Co-dir. de thèse : Franck SCHOEFS

Professeur des Universités, Nantes Université, GeM CNRS UMR 6183

Co-encadrant : Bertrand GARNIER

Chargé de Recherche CNRS, Nantes Université, LTeN, UMR 6607, Nantes

Titre : Effet de la bio-colonisation sur le comportement thermique des câbles électriques dynamiques des éoliennes flottantes

Mots clés : câble dynamique électrique ; caractérisation thermique du biofouling ; conductivité thermique effective ; les énergies marines renouvelables ; éolienne offshore flottante

Résumé : Les projets d'éoliennes flottantes se développent à l'échelle mondiale de manière prometteuse. Un de leurs composants clés est le câble dynamique de puissance permettant le raccordement des éoliennes à leur sous-station électrique et au réseau énergétique sous-marin. Parmi les effets les moins connus et qui peut être les plus impactant figure la bio colonisation. On entend par bio colonisation le développement de concrétions marines (algues, moules, huîtres) qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur. Par l'effet d'écran thermique, de masse additionnelle et de modification de la rugosité, la bio colonisation va impacter le comportement du câble dynamique. Parmi les effets majeurs on note les sollicitations hydrodynamiques modifiant d'une part leur tenue mécanique notamment en situation de tempête ou d'autre part leur fatigue. Ces dégradations du câble sont accentuées lors de l'accroissement de sa température d'où la nécessité de comprendre l'effet de la biocolonisation sur les transferts thermiques autour du câble. Ce sujet très peu abordé dans la littérature a été l'objet de cette thèse. Des échantillons de moules avec différents stades de maturité (juvénile, adulte ou mixte) ont été prélevés sur site marin afin de réaliser des mesures de conductivité thermique équivalente.

L'effet de la présence d'un écoulement forcé à travers l'échantillon de moules (milieu avec pores ouverts) a été étudié afin de prendre en compte la présence d'un éventuel courant marin. Des mesures complémentaires de perméabilité de ce milieu ont été réalisées. Enfin, en utilisant les mesures de caractérisation thermique, les champs de température au sein du câble sous-marin en présence de biocolonisation ont pu être simulés numériquement. Par ailleurs la problématique de la surveillance sur site marin de la croissance de la biocolonisation a été abordée en proposant un dispositif thermique original à installer sur les câbles sous-marins afin de périodiquement évaluer l'épaisseur ou les caractéristiques de la biocolonisation. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet BIODYTHERM financé par WEAMEC, West Atlantic Marine Energy Community, et avec un financement du Pays Région de la Loire. Il fait également partie du projet OMDYN-2 : Ombrilicaux dynamiques pour les énergies marines renouvelables flottantes accordé par France Energies Marines et l'Agence nationale de la recherche.

Title : Effect of bio-colonization on the thermal behavior of dynamic electrical cables of floating wind turbines

Keywords : electric dynamic cable; thermal characterization of biofouling; effective thermal conductivity; marine renewable energies; floating offshore wind turbine

Abstract : Floating wind turbine projects are developing on a global scale in a promising way. One of their key components is the dynamic power cable allowing the connection of the wind turbines to their electrical substation and to the underwater energy network. Among the least known effects and which can be the most impacting is biocolonization. By biocolonization we mean the development of marine concretions (algae, mussels, oysters) which can reach several tens of centimeters in thickness. By the effect of heat shield, additional mass and modification of the roughness, the bio colonization will impact the behavior of the dynamic cable. Among the major effects we note the hydrodynamic stresses modifying on the one hand their mechanical strength, particularly in stormy situations, and on the other hand their fatigue. These degradations of the cable are accentuated during the increase in its temperature, hence the need to understand the effect of biocolonization on the heat transfers around the cable. This subject, very little addressed in the literature, was the subject of this thesis.

Samples of mussels with different stages of maturity (juvenile, adult or mixed) were taken from the marine site in order to carry out measurements of equivalent thermal conductivity. It is therefore necessary to understand the role of biocolonization, in its variability, to integrate studies on particular components. This thesis focuses on the thermal effect of biocolonisation (mussels) on the dynamic electric cable. The thermal characteristics for different ages of the mussels were measured and their thermal effect around the dynamic electric cable was simulated. Moreover, an original method for monitoring the growth of biocolonization around the dynamic underwater electric cable has been proposed using an original thermal sensor. This work was carried out within the framework of the BIODYTHERM project funded by WEAMEC, West Atlantic Marine Energy Community, and with funding from Pays Région de la Loire. It is also part of the OMDYN-2 project: Dynamic umbilicals for floating marine renewable energies granted by France Energies Marines and the National Research Agency.