**Titre :**

Étude de l’endommagement par fretting-fatigue de fils de câbles d’ancrage offshore : influence de la galvanisation, de la graisse et de l’eau de mer

**Mots clés :**

fretting-fatigue, corrosion, fils acier, câble, eau de mer, galvanisation, graisse, éléments finis

**Résumé :**

Les éoliennes offshores flottantes sont ancrées au fond marin par des câbles acier, des chaînes ou des câbles synthétiques. La thèse s’intéresse à la fatigue des câbles acier. Ceux-ci sont constitués de fils en acier enroulés en hélices, organisés en couches successives. Une gaine en plastique étanche protège le câble de l’eau de mer. Mais si cette gaine est endommagée, alors de l’eau de mer peut entrer en contact avec les fils. Ces fils sont recouverts d’un revêtement de zinc par galvanisation. Ce revêtement sert de protection cathodique contre la corrosion induite par l’eau de mer. De plus, les fils sont graissés, ce qui apporte une protection physique contre l’eau de mer. Sous l’effet de la houle et du vent, ces câbles sont soumis à des chargements de tension et de flexion variables qui induisent la fatigue du câble. Cette fatigue est essentiellement due au phénomène de fretting-fatigue des fils. Le fretting est défini comme un déplacement relatif de très faible amplitude entre des solides en contact. Le fretting génère des contraintes très fortes et très localisées au niveau des contacts entre les fils, ce qui induit l’apparition rapide de fissures. Sous l’effet du fretting seul, ces fissures arrêteraient rapidement de se propager, les surcontraintes étant localisées en surface. Mais le chargement de fatigue cause la propagation de ces fissures, jusqu’à éventuellement la rupture des fils. Le fretting-fatigue est la combinaison des deux phénomènes. Dans le cas d’une rupture de la gaine, la corrosion induite par l’eau de mer pourrait aggraver le risque de rupture.

Les connaissances sur l’endommagement des câbles sont largement empiriques. Les travaux de cette thèse s’attachent à expliquer et quantifier les différents phénomènes physiques qui ont une influence sur le risque de rupture des fils. Les effets de la galvanisation, de la graisse et de l’eau de mer sont analysés.

Dans un premier temps, un modèle numérique global du câble est créé, qui permet de calculer les chargements de fretting et de fatigue exercés sur les fils. Ces chargements sont ensuite appliqués aux fils lors d’essais expérimentaux. Dans une première série d’essais, les fils sont clairs (c’est-à-dire sans leur revêtement de zinc), et le milieu est l’air ambiant. Ce cas simplifié, qui n’existe pas en service, permet d’obtenir le comportement en fretting-fatigue des fils avec le moins de biais possible. Un modèle numérique de prédiction de rupture est développé. Par la suite, l’influence de la galvanisation, de la graisse et de leurs synergies est étudiée avec des séries d’essais de fretting-fatigue sur fils zingués, clairs graissés et zingués graissés. Les résultats montrent un effet bénéfique significatif de la graisse. Enfin, l’influence de l’eau de mer a été étudiée avec des séries d’essais sur fils clairs en eau de mer avec et sans protection cathodique. Les résultats montrent un effet négatif important de l’eau de mer, en particulier lorsque il n’y a pas de protection cathodique.

**Title :**

Study of the fretting fatigue damage of steel wires for offshore mooring wire ropes: influence of galvanisation, grease and seawater

**Keywords**:

fretting-fatigue, corrosion, steel wires, wire rope, seawater, galvanisation, grease, finite elements

**Abstract :**

Floating offshore wind turbine are moored by steel wire ropes, synthetic ropes or chains. The present work is dedicated to the fatigue of steel wire ropes. These ropesare made of helically wound steel wires arranged in successive layers. A watertight plastic sheath protects the wire rope from seawater. But if this sheath is damaged, seawater could come into contact with the wires. These wires are zinc coated through a galvanisation process. This coating provides cathodic protection against seawater-induced corrosion. The wires are also greased, providing physical protection against seawater. Under the effect of the swell and the wind, these wire ropes are subjected to variable tensile and bending loads that generate fatigue loads on the rope. This fatigue is mainly related to the fretting fatigue of the wires. Fretting is defined as a relative displacement of very small amplitude between solids in contact. Fretting generates very high and very localised stresses at the contacts between the wires, leading to the rapid appearance of cracks. Under the effect of fretting alone, these cracks would quickly stop propagating, as the fretting-induced stresses are localised at the surface. But fatigue loading causes these cracks to propagate, eventually leading to wire failure. Fretting-fatigue is the combination of these two phenomon. In the case of a sheath failure, seawater-induced corrosion could exacerbate the risk of failure.

Knowledge on cable damage is largely empirical. The aim of this thesis is to explain and quantify the various physical phenomena that influence the risk of wire ruptures. The effects of galvanisation, grease and seawater will be analysed.

Firstly, an overall numerical model of the cable is created, enabling the fretting and fatigue loads exerted on the wires to be calculated. These loads are then applied to the wires in experimental tests. In the first series of tests, the wires are clear (i.e. without their zinc coating), and the environment is ambient air. This simplified case, which does not exist in service, is studied to obtain the fretting-fatigue behaviour of the wires with as little bias as possible. A numerical wire rupture prediction model was developed. Then, the influence of galvanisation, grease and their synergies is studied, with a series of fretting-fatigue tests on galvanised, greased and galvanised-greased wires. The results show a significant beneficial effect of grease. Finally, the influence of seawater was studied with a series of tests on clear wires in seawater with and without cathodic protection. The results show a significant negative effect of seawater, particularly when there is no cathodic protection.