

Evaluation Du Dommage D'un Toron Soumis À Des Modes De Dégradation Combinés

A. TIJANI¹, M. MEKNASSI², H. CHAFFOUI¹, M. EL GHORBA²

1. Laboratoire de physique de l'atmosphère, des matériaux et de modélisation, FST Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca. Casablanca, Maroc

2. Laboratoire de Contrôle et de Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures, ENSEM, Université Hassan II de Casablanca. Casablanca, Maroc

Résumé

Dans cet article, l'influence des dégradations sur le comportement de torons métalliques est étudiée. Ces endommagements sont tels que la rupture des fils ainsi que la combinaison d'endommagement par fils rompus avec la corrosion. Le dommage obtenu dans le cas de fils rompus est d'allure linéaire. Dans le cas d'endommagement combiné, après une première phase où le dommage est quasiment linéaire, celui-ci devient plus agressif en phase de dommage progressif. La majoration du dommage combiné relativement au dommage par fils rompus est d'environ 25%. Le stade du dommage brutal se situe au quatrième fil cassé dans le cas du dommage combiné contre une limite du dommage brutal au cinquième fil rompu pour le dommage artificiel simple. La durée de vie critique des torons a été établie à 55 % en dommage combiné et à 60 % en dommage artificiel par rupture de fils.

Mots clés : *Câble ; dommage ; fiabilité ; corrosion ; fils rompus.*

1. Introduction

Les câbles utilisés dans les ponts à suspension ou ponts à Haubans sont soumis, durant leur vie en service, à des agressions de l'environnement (urbain, industriel, marin, etc.) et au vieillissement. Ces effets mènent à la réduction de leur capacité portante et de leur fiabilité. Ainsi, dans l'objectif d'assurer un usage optimal de ces structures, l'analyse de leur sûreté de fonctionnement est connectée à des procédures d'inspection spécifiques [1], [2]. Compte tenu de la complexité de leur construction et de leur non-linéarité, les modèles de comportement des câbles sont de statistiques [3], [4]. En effet, le comportement d'un câble est multi-échelle : l'échelle du fil, l'échelle du toron et l'échelle du câble. Au niveau des endommagements observés dans les câbles, d'un côté, dans le cas de corrosion, le processus physico-chimique se développe différemment suivant la construction du câble et la position des fils. Par exemple, la couche extérieure du câble est plus exposée à la corrosion que les couches intérieures. D'autre part, un câble avec des composantes rompues peut recouvrer sa force après une certaine longueur [5].

Le comportement multi-échelle des câbles nous incite à étudier, en première étape, l'échelle du toron. Ce travail vise à la prédiction du dommage de torons sujets à des dégradations combinées : dommage artificiel par rupture de fils et corrosion. Le câble utilisé dans cette étude est représenté en figure 1.

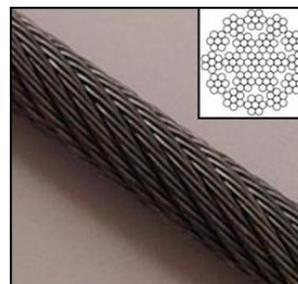


Figure 1. Photo et coupe du câble objet de l'étude.

2. Procédure expérimentale

2.1 Matériel et équipements

Le câble est constitué de fils dont la composition chimique révèle un acier faiblement allié. Les fils obtenus par tréfilage deviennent écrouis et obtiennent une forte résistance [6].

Dans ce travail, nous avons pris un câble de type 19 * 7 (1 * 7 + 6 * 7 + 12 * 7), anti giratoire, de diamètre 10 mm, galvanisé, à âme métallique (IWRC).

La couche extérieure et les couches intérieures étant câblées en sens opposé, le câble obtient une certaine résistance à la rotation. Ce type de câble est spécialement utilisé dans les grues où il n'y a pas de besoin de guidage et la rotation des charges suspendues peut être limitée [7].

Le tableau 1 présente les caractéristiques géométriques du câble.

Les données en gras sont fournies par le constructeur, les autres étant obtenues par mesure en laboratoire.

Tableau 1. Informations générales sur le câble 19x7, de diamètre 10 mm

| | |
|------------------------------|------------|
| Diamètre du toron | 1,9 mm |
| Diamètre du toron âme | 2,4 mm |
| Diamètre du fil | 0,58 mm |
| Diamètre du fil âme toron | 0,68 mm |
| Construction du toron | 6/1 |

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Traitement | Acier galvanisé |
| Nature de l'âme | IWRC |
| Poids approximatif | 40.4 kg/100 m |
| Lubrifiant | A2/W-3 |
| Force de rupture | 68,6 KN |

Une machine de traction "Zwick ROELL" avec une cellule de charge de 10 KN est utilisée pour les essais de traction des torons (Fig. 2).



Figure 2. Machine de traction "ZWICK ROELL"

2.2 Caractérisation mécanique

Les échantillons sont réalisés de 300 mm de longueur (200 mm plus 100 mm requis pour l'amarrage) [8]. Les torons sont extraits de la couche extérieure du câble. La vitesse est fixée à 1.5 mm/min [9].

Les résultats des essais de traction sur toron vierge sont représentés en figure 3 par une courbe représentative, avec la contrainte en ordonnées et la déformation en abscisses.

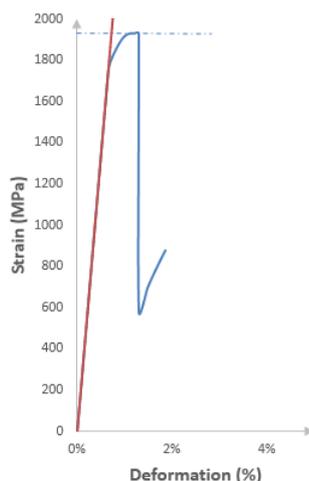


Figure 3. Essai de traction sur toron vierge

Les caractéristiques mécaniques sont résumées dans le tableau 3. Les valeurs indiquées correspondent aux valeurs moyennes résultant des trois essais de traction. L'écart type est inférieur à 4%.

Tableau 2. Caractéristiques mécaniques du toron

| Module d'élasticité | Limite élastique (σ_e) | Force ultime de traction (σ_u) |
|----------------------------|---|---|
| 183 GPa | 1800 | 1935 |

2.3 Endommagement artificiel

2.3.1 Endommagement mécanique des torons

Un défaut est amorcé en coupant les fils des échantillons de torons. Une épingle est insérée en partie centrale à travers un fil du toron, puis elle est tournée dans la direction du toronnage. Le fil est finalement coupé à l'aide d'une pince coupante. Ainsi, le dommage mécanique des échantillons est réalisé à différents niveaux d'endommagement (de 1 à fils coupés).

2.3.2 Endommagement combiné des torons

Le dommage combiné est obtenu par corrosion accélérée sur les échantillons de toron pré-endommagés mécaniquement. Une longueur de 100 mm au centre de l'éprouvette est immergée dans une solution à 30% H₂SO₄ à température ambiante. Le choix de cette concentration est déterminé sur la base de la valeur critique obtenue par Meknassi et Al [10]. Le temps d'immersion est de 4 heures.

3. Résultats des essais

Le tableau 3 indique les forces ultimes résiduelles sur les torons mécaniquement endommagés ainsi que sur torons avec endommagement combiné.

Tableau 3. Forces ultimes résiduelles des torons endommagés mécaniquement

| Nombre de fils rompus | Force ultime résiduelle – Cas d'endommagement mécanique | Force ultime résiduelle – Cas d'endommagement combiné |
|------------------------------|--|--|
| 0 | 3770 | 3397 |
| 1 | 3300 | 2838 |
| 2 | 2800 | 2350 |
| 3 | 2430 | 1944 |
| 4 | 1970 | 1153 |
| 5 | 1620 | 842 |
| 6 | 797 | 396 |

4. Calcul du dommage normalisé

4.1. Dommage statique normalisé

Le calcul du dommage normalisé suit la relation suivante:

$$D_s = \frac{1 - \frac{F_{ur}}{F_u}}{1 - \frac{F_a}{F_u}} \quad (1)$$

Où:

F_{ur} est la force ultime résiduelle. Chaque valeur correspond à un nombre de fils rompus ;

F_u est la force ultime du matériau d'origine ;

F_a est la force critique, elle correspond à la force résiduelle du matériau avant la rupture finale ;

β est la fraction de vie.

La courbe ci-après (fig. 6) représente le dommage obtenu dans le cas de dommage mécanique.

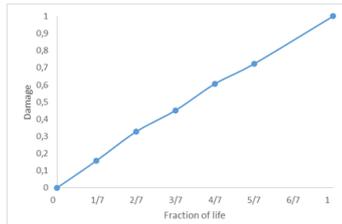


Figure 6. Dommage statique des torons avec fils rompus artificiellement

Nous observons que le dommage est proche du dommage linéaire de Miner. À présent, l'influence d'un second mode de dégradation va être investie. Le dommage résultant est représenté en figure 7.

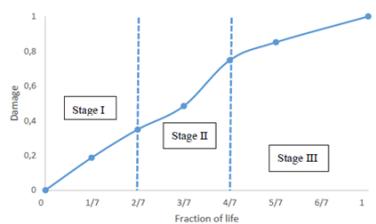


Figure 7. Dommage statique des torons avec endommagement combiné

Les trois stades d'endommagement sont aussi représentés dans la figure. Le stade I correspond à la phase d'initiation du dommage, le stade II au dommage progressif, il est placé au droit du changement de courbure de la courbe de dommage et le stade III du dommage brutal où la pente de la courbe augmente.

En comparaison avec le cas de dommage artificiel [9], la limite du stade I est la même. Par contre, le dommage brutal commence à 4/7 fils rompus dans le cas du dommage combine contre une limite à 5/7 dans le cas du dommage mécanique. Dans la figure 8, l'effet du dommage combiné apparaît en comparaison avec le dommage mécanique en stade II où une majoration d'environ 25% est observée.

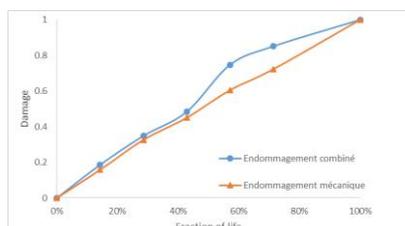


Figure 8. Comparaison des dommages

5. Conclusion

Dans ce travail, l'influence de fils rompus et la corrosion sur le comportement de torons a été étudiée. Le dommage résultant de fils rompus suit la règle linéaire de Miner. Dans le cas du dommage combiné, celui-ci devient plus agressif en phase II. L'augmentation du dommage combine en comparaison avec le dommage mécanique atteint 25%.

Références

- [1] D. K. Zhang, S. R. Ge, et Y. H. Qiang, « Research on the fatigue and fracture behavior due to the fretting wear of steel wire in hoisting rope », *Wear*, vol. 255, n° 7- 12, p. 1233- 1237, août 2003.
- [2] D. SIEGERT et P. BREVET, « Fatigue of stay cables inside end fittings high frequencies of wind induced vibrations », vol. OIPEEC Bulletin, n° 89, p. 43-51, 2005.
- [3] S. M. Elachachi, D. Breyse, S. Yotte, et C. Cremona, « A probabilistic multi-scale time dependent model for corroded structural suspension cables », *Probabilistic Eng. Mech.*, vol. 21, n° 3, p. 235-245, juill. 2006.
- [4] C. Cremona, « Probabilistic approach for cable residual strength assessment », *Eng. Struct.*, vol. 25, n° 3, p. 377-384, févr. 2003.
- [5] M. Raof et I. Kraincanic, « Determination of wire recovery length in steel cables and its practical applications », *Comput. Struct.*, vol. 68, n° 5, p. 445-459, sept. 1998.
- [6] A. LEFORT, « Tréfilage de l'acier », *Tech. Ing. Mise En Forme Aciers Alum. Autres Métaux Alliages*, vol. base documentaire : TIB356DUO, n° m3125, 2016.
- [7] BRIDON STEEL WIRE ROPES AND FITTINGS, « The Blue Pocket Catalogue ». .
- [8] ISO, « Câbles en acier pour usages courants - Détermination de la charge de rupture effective ». ISO 3108, 1974.
- [9] A. Tijani, M. E. Ghorba, H. Chaffoui, N. Mouhib, et E. M. Boudlal, « Experimental life prediction of a 1+6 strand extracted from a 19x7 wire rope », *IPASJ Int. J. Mech. Eng. IJME*, vol. 4, n° 3, p. 23-29, mars 2016.
- [10] M. Meknassi, N. MOUHIB, A. TIJANI, et M. EL GHORBA, « Experimental study of wires extracted from steel wire rope and exposed to sulfuric acid », *IPASJ Int. J. Mech. Eng. IJME*, vol. 3, n° 11, p. 47-53, nov. 2015.