

Etude expérimentale du comportement mécanique de la structure des câbles métalliques de levage de type antigiratoire 19x7

[Experimental study on the mechanical behavior of hoisting wire rope type antigiratory 19x7]

Nadia Mouhib¹, Hanaa Ouamar¹, Mohammed Lahlou¹, Khalid El Had², and Mohamed El Ghorba¹

¹Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS), Oasis Route d'El Jadida, BP 8118, CASABLANCA (Maroc)

²Institut Supérieur d'Etudes Maritimes, Km 7 Route d'El Jadida Casablanca Maroc, Casablanca, Maroc

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Throughout the life of wire ropes, they are subjected to high mechanical loads and variable, depending on their uses, indicating a loss of original strength, which sometimes leads to very rapid deterioration leading to sudden rupture. They require delicate monitoring and regular maintenance. Indeed, the smallest failures cause substantial discomfort economically and socially. Thus the need to understand the behavior of a structure as complex as the cables is of paramount importance. This study contributes to the understanding of the elastic behavior of steel wire rope type antigiratory 19x7. Standard cable test specimens are subjected to static loads at different strain rate. The results obtained by means of hydraulic machine MTS showed that the wire ropes have an elastic behavior and that they have a very low strain rate sensitivity.

KEYWORDS: wire rope, elastic behavior, static loads, tensile test, rate.

RESUME: Tout au long de la vie utile des câbles métalliques, ils sont soumis à des sollicitations mécaniques élevées et variables, selon leurs utilisations, indiquant une perte de la force originale, ce qui mène à des dégradations parfois très rapides conduisant à la rupture brutale. Ils nécessitent alors une surveillance et un entretien périodique régulier et délicat. En effet, les moindres défaillances entraînent des gênes conséquentes sur le plan économique et social. Ainsi la nécessité de comprendre le comportement d'une structure aussi complexe que les câbles s'avèrent d'une haute importance. Cette étude contribue à la compréhension du comportement élastique des câbles métalliques de levage de type antigiratoire 19x7. Des éprouvettes de câble normalisées sont soumises à des sollicitations statiques de traction à différentes vitesses de déformation. Les résultats obtenus au moyen d'une machine hydraulique MTS ont montré que les câbles métalliques ont un comportement élastique et qu'ils présentent une sensibilité très faible à la vitesse.

MOTS-CLEFS: câble, comportement élastique, sollicitations statique, traction, vitesses.

1 INTRODUCTION

Les câbles sont en général des éléments structurels ayant une capacité de supporter une grande charge axiale et ils peuvent continuer à reprendre les charges malgré la rupture d'un ou plusieurs fils [1]. Ils doivent être considérés comme éléments d'usure avec une durée de vie limitée. Leurs propriétés mécaniques changent avec la fréquence d'utilisation.

Le constituant de base du câble d'acier est le fil tréfilé(4). Les fils sont alors torsadés pour former le toron(3), le câble (1) est enfin fabriqué avec les torons, qui décrivent des hélices autour de l'âme (2) lors de l'opération de câblage (fig.1)

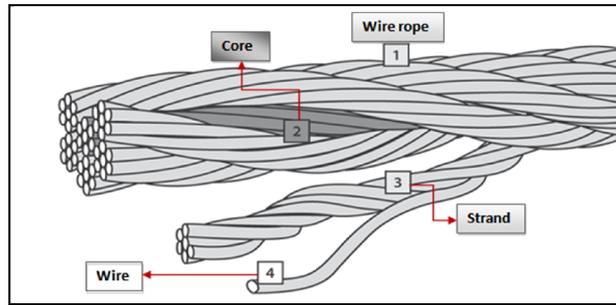


Fig. 1. *Éléments constitutifs d'un câble métallique*

Plusieurs études expérimentales dans la littérature ont été effectuées sur le câble métallique pour caractériser son comportement mécanique dans diverses conditions. Zang et al [2] ont étudié le comportement d'un câble face aux sollicitations de fatigue par flexion en utilisant des moyens de détection quantitative non destructive et méthodes de détection artificiels. Gabriel, dans son article [3], propose des résultats expérimentaux sur la fatigue des câbles monotorons. Il étudie notamment l'influence des conditions de contact interfilaire, de la longueur et du diamètre des fils et des ancrages sur la durée de vie des câbles. Les travaux de Siegert [4] ont montré que les ruptures de fils en couches externes sont liées aux conditions de sollicitation des torons multicouches près de leurs ancrages : ils sont sollicités en flexion, ce qui entraîne des conditions de fretting-fatigue au niveau des contacts entre les fils des différentes couches du toron. Urvoy et Siegert [5-6] ont montré que les moyens de protection tels que la lubrification et la galvanisation qui ont initialement été développés pour lutter contre la corrosion sont également bénéfiques sur le comportement des fils d'acier tréfilé. Meksem et al [7], ont étudié le comportement mécanique des câbles avec différents pourcentages de fils rompus soumis à des chargements statiques de traction. Le modèle développé détermine la fiabilité d'un câble dégradé à différents niveaux de dommages et la force maximale correspondant à la traction, pour aider à la planification et l'organisation de la maintenance préventive.

L'objectif principal de cet article est d'abord comprendre le comportement élastique des câbles métalliques de levage de type antigiratoire 19x7. Des éprouvettes de câble normalisées sont soumises à des sollicitations statiques de traction à différentes vitesses de déformation.

2 MATÉRIAU ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTALE

2.1 MATÉRIAU

Du fait de leurs compositions géométriques, le choix des câbles métalliques de levage de type antigiratoire s'est largement répondu, et ce grâce au fait que les couples de rotation des âmes en acier et des torons extérieurs s'annulent dans une grande zone de charge et évitent ainsi le vrillage des câbles même sous des hauteurs de levage importantes.

Dans ce travail, nous considérons un câble de structure antigiratoire de type 19 x 7 ($1*7 + 6*7 + 12*7$) composé de l'acier clair graissé, à âme métallique, croisé à droite, préformé. Le câble est composé de deux couches de torons câblés en sens opposés (Fig.2) dont les caractéristiques sont données dans le tableau 1:

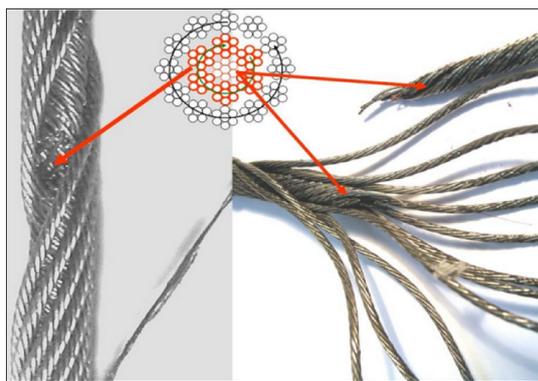


Fig. 2. Câble métallique de levage de type 19x7 de construction antigiratoire

Tableau 1. Caractéristiques du câble 19X7

Diamètre du câble	7mm
Diamètre du toron	1,58mm
Diamètre de l'âme du câble	1,7mm
Diamètre de l'âme du toron	0,6mm
Diamètre du fil du toron	0,5mm
Diamètre du fil de l'âme du câble	0,5mm
Diamètre de l'âme du câble	0,7mm
Force minimale de rupture	35 KN

La composition chimique des câbles étudiés est obtenue par l'analyse spectrométrique à l'aide d'un Spectromètre à étincelle de pointe, le résultat obtenu est récapitulé dans le tableau 2

Tableau 2. Composition chimique %

Elements	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
%	1,478	2,04	2	0,091	0,0144	0,182	0,208	0,120

On remarque que le pourcentage de carbone est très élevé, ceci confère au câble une limite élastique importante et par suite une haute résistance à la traction.

2.2 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Pour obtenir des résultats qui se rapprochent de la réalité, la préparation des échantillons revêt un caractère essentiel. En effet, si celle-ci n'est pas faite avec soin les résultats peuvent être faussés du fait des contraintes supplémentaires apportées aux câbles durant leurs préparations.

La longueur minimale de l'éprouvette à l'exception des terminaisons est de 600mm conformément à la norme EN 12385-1 [8] et les éprouvettes d'essais préalablement préparées doivent avoir leurs extrémités maintenues afin que le câble ne puisse glisser entre les mors de la machine hydraulique MTS 810 ayant une capacité maximale de chargement de 100 KN (fig 3).



Fig. 3. Essai de traction sur une éprouvette de câble

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 COMPORTEMENT ÉLASTIQUE ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE LEVAGE

Les paramètres contrôlés durant chaque essai de traction statique sont : la charge et le déplacement. Au cours des essais à contrainte imposée, nous avons constaté une chute de la force à chaque rupture de fils. Cette chute devient très remarquable lors de la rupture d'un grand nombre de fils (fig 4). Pour cela nous avons opté pour la déformation imposée.

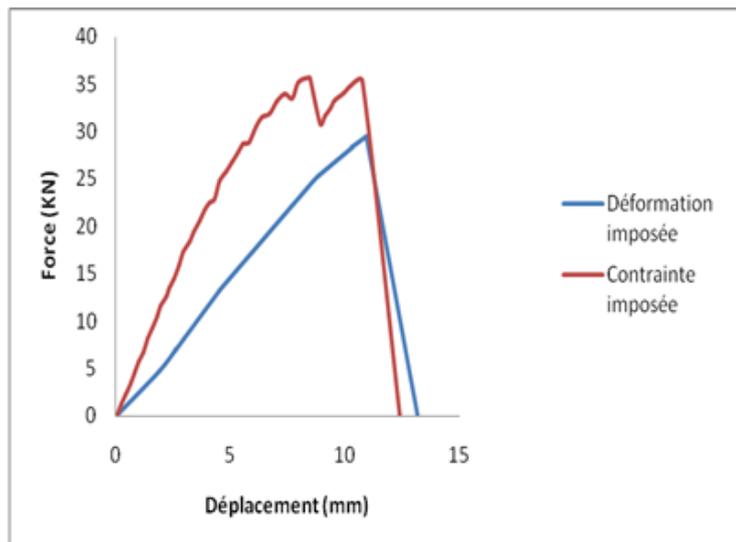


Fig. 4. Comparaison des courbes d'essai de traction à déformation imposée et contrainte imposée

D'après la figure 4, on constate que les câbles métalliques de levage ont un comportement élastique. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le câble de traction n'est pas infiniment rigide. L'écroutissage provoqué par le tréfilage des fils de câble permet de relâcher les contraintes internes dans le matériau et aussi le pourcentage de carbone élevé, confèrent au câble une limite élastique très remarquable et par suite une haute résistance à la traction. Les propriétés mécaniques sont reportées au tableau 3.

Nous utilisons la formule suivante (1) pour calculer la section normalisée de câble 19 * 7 [9] :

$$A_m = f \pi d^2 / 4 \tag{1}$$

Où:

d: est le diamètre du câble;

f: coefficient égale à $f = 0,55$ pour les câbles multi-torons.

Le câble 19 * 7 est un câble multi-torons donc la section normalisée sera égale à 21,16 mm².

Tableau 3. Caractérisation mécanique

Module de Young (GPa)	Coefficient de poisson	Limite élastique (MPa)	Contrainte maximale (MPa)
E=192 GPa	$\nu=0,3$	$\sigma_e=1454$	$\sigma_m=1568$

3.2 L'ÉVOLUTION DE LA FORCE EN FONCTION DU DÉPLACEMENT POUR DIFFÉRENTES VITESSES :

La figure 1 représente la superposition de trois courbes qui montrent l'évolution de la force appliquée sur l'éprouvette en (KN) en fonction du déplacement (mm) pour trois différentes vitesses : $V=5\text{mm/min}$, 3mm/min , $1,5\text{ mm/min}$.

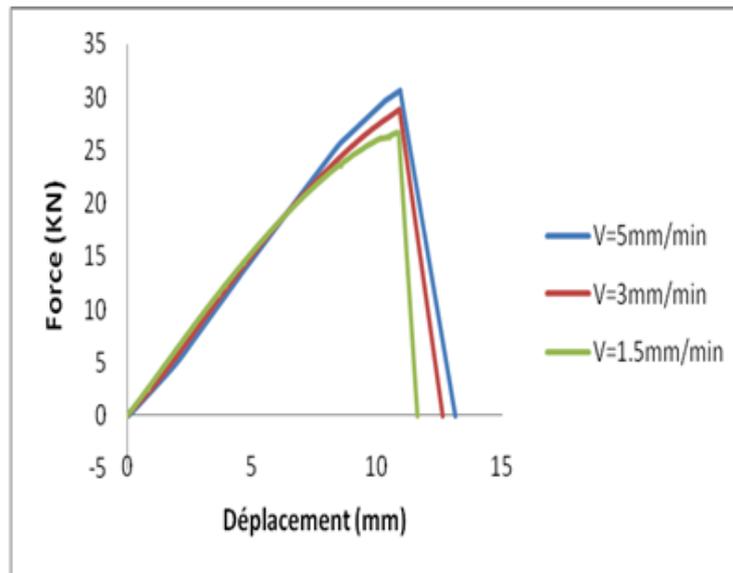


Fig. 5. L'évolution de la force (KN) en fonction du déplacement (mm) pour différentes vitesses

Nous remarquons que plus on augmente la vitesse, la contrainte à la rupture augmente légèrement (pour $v=5\text{mm/min}$ on a $\sigma_r = 2495\text{ MPa}$, pour $v=3\text{mm/min}$ on a $\sigma_r = 2349\text{ MPa}$, pour $v=1.5\text{mm/min}$ on a $\sigma_r = 2149\text{ MPa}$) avec un allongement de 16%. Nous pouvons conclure que la vitesse de déformation n'a pas une influence sur le comportement des câbles durant l'essai statique de traction.

4 CONCLUSION

Cette étude s'est concentrée sur le comportement mécanique des câbles métalliques en service en se servant des éprouvettes de câble soumises à des sollicitations de traction. La géométrie de l'éprouvette étudiée est celle que propose la norme EN 12385-1. Après la détermination de la composition chimique ainsi les propriétés mécaniques, l'influence de la variation de la vitesse de déformation sur le déroulement de l'essai a été étudiée et les résultats ont montrés que son influence est très faible voir négligeable. Nous avons aussi constaté que le câble étudié a un comportement élastique ceci est due au processus de fabrication de ses fils tréfilés et aussi grâce à sa teneur en carbone.

REFERENCES

- [1] H. Zejli : "Détection et localisation par émission acoustique de fils rompus dans les ancrages de câbles d'ouvrages d'art". *Thèse de doctorat*, UTC, 2007.
- [2] Zhang D, Chen K, Jia X, Wang D, Wang S, Luo Y, et al. " Bending fatigue behavior of bearing ropes working around pulleys of different materials". *Eng Fail Anal*;33:37–47, 2013
- [3] GABRIEL K., "The fatigue strength of wires in spiral ropes, *Journal of Energy Resources Technology*", Vol. 107, pp. 107-112, March 1985.
- [4] SIEGERT D., "Mécanismes de fatigue de contact dans les câbles de haubanage de Génie Civil" , *Thèse de doctorat*, Ecole Centrale de Nantes, France 1997.
- [5] D. Siegert, J.R. Urvoy, P. Brevet et J.F. David : "Essais de fretting-fatigue sur fils en acier tréfilé de câbles de précontrainte" Janvier 2006.
- [6] J.R. Urvoy, D. Siegert, L. Dieng et P. Brevet : " Influence des revêtements métalliques et des lubrifiants sur la fatigue des contacts interfilaires de câbles". *17ème Congrès Français de Mécanique*, 2005.
- [7] MEKSEM A, "Approche probabiliste et caractérisation expérimentale du comportement des câbles métalliques de levage" *Thèse de DOCTORAT*, ENSEM, Université Hassan 2, Aïn Chock, Casablanca,2010.
- [8] Norme Européenne EN 12385-1 «Câbles en acier. Partie 1 : Prescriptions générales» 2002.
- [9] A.CHOUAIRI,M. EL GHORBA, A.BENALI, A.HACHIM "Estimated loss of residual strength of a flexible metal lifting wire rope: Case of artificial damage" *Recent Advances in Mechanical Engineering and Mechanic* sISBN: 978-1-61804-226-2. 2014.