

ANALYSE DE COMPORTEMENT SOUS CORROSION DES FILS EXTRAITS D'UN CÂBLE MÉTALLIQUE BASÉE SUR DES MODELES STATISTIQUES

M. MEKNASSI¹, A. TIJANI^{1,2}, M. BARAKAT³,
M. EL GHORBA¹

1. *Laboratory Of Control And Mechanical Characterization Of Materials And Structures, National Higher School Of Electricity And Mechanics (ENSEM), Hassan II University Of Casablanca, B.P 8118 Oasis - Casablanca, Morocco*
2. *Laboratory Of Atmosphere's Physics and Modeling, FST Mohammedia, Hassan II University Of Casablanca, BP 146 - Mohammedia, Morocco*
3. *ISEM/Higher Institute of Maritims Studies, Laboratory of Mechanics, Km 7 Road El Jadida Casablanca Morocco*

Résumé

Les fils d'acier sont les composants primaires d'un câble métallique de levage. Ils sont soumis à l'action du temps et par conséquent le vieillissement qui est l'une des principales causes de la réduction de leur fiabilité.

L'analyse de comportement des fils d'acier est traditionnellement basée sur des modèles statistiques décrivant la variabilité de ses propriétés. Pour ce fait, une étude statistique a été effectuée sur deux populations des fils sains et corrodés en appliquant la répartition de Student pour sélectionner les résultats les plus fiables et la distribution de Weibull pour définir la probabilité de survie et la probabilité de défaillance.

Mots clefs: Fil, câble métallique, corrosion, Weibull.

1. Introduction

Les câbles métalliques sont présents dans de nombreux domaines de notre vie quotidienne tels que : le levage domestique et industriel et les équipements de traction [1]. Un câble métallique est composé d'un grand nombre de fils d'acier disposés en hélice autour d'un fil central pour construire les torons, qui sont encore enroulés ensemble autour d'une âme textile ou métallique pour construire le câble (figure 1).



Fig. 1. Éléments constituant un câble métallique

Un câble métallique peut être considéré comme un système d'éléments interconnectés de sorte que son état dépend des états de ses composants (fils, torons) et par conséquent l'étude du comportement d'un câble métallique est une étude multi-échelle où l'on peut distinguer trois échelles: l'échelle du fil, l'échelle du toron et l'échelle du câble [2]. L'objectif de notre travail consiste à étudier l'échelle du fil par une analyse son comportement sous corrosion en utilisant une étude statistique basée sur deux méthodes: la répartition de Student et la distribution de Weibull.

2. Méthodologie expérimentale

Les fils étudiés ont été extraits d'un câble métallique de type 19*7 (19 torons 7 fils) de constructions antigiratoire (1*7 + 6*7 + 12*7) de diamètre 8mm, composé de l'acier clair graissé, à âme métallique, croisé à droite Figure 2.



Fig. 2. Câble antigiratoire (19*7)

La composition chimique du câble étudié est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique du matériau

Composition	C	Si	Mn	S	P
Percentage	1,478	2,04	3	0,144	0,091

La longueur minimale des échantillons des fils pour les essais de traction est égale à la longueur d'essai 200 mm plus celle nécessaire à l'amarrage. Par conséquent, une longueur de 300 mm a été prévue comme étant la longueur d'essai (figure 3) [3].

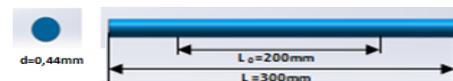


Fig. 3. Dimensions des fils étudiés

Le processus de corrosion que nous avons adapté consiste à immerger deux lots de 17 fils dans des solutions d'acide sulfurique de 30% à température ambiante (figure 4,5) [4]. Les lots ont été prélevés après 16 heures et 32 heures.



Fig. 4. Fil préparés pour l'essai de corrosion

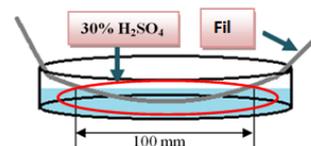


Fig. 5. Schéma explicatif des essais de corrosion

Les éprouvettes ont été testées une vitesse de 1,5 mm/min à une température ambiante sur la machine Zwick Roell de cellule d'effort de 2,5 KN (figure 6).



Fig. 6. Machine Zwick Roel

3. Résultats et discussions

3.1 Essais de traction statique

Les essais de traction ont été effectués sur trois lots de 17 fils (vierges, corrodés à 16 heures, corrodés à 32 heures). Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des contraintes maximales obtenues pour les fils vierges et les fils corrodés.

Tableau 2. Valeurs moyennes de la contrainte maximale pour les fils vierges et corrodés

	Fils vierges	Fils corrodés à 16 H	Fils corrodés à 32 H
Moyenne	2249,17	1492,58	729,76
Écart type	198,61	79,34	33,23

3.2 Application de la répartition de student

La loi Student permet de déterminer un intervalle de confiance dans lequel les valeurs limites de la contrainte maximale ont 90 chances sur 100 d'encadrer la moyenne de la distribution des essais de traction [5].

$$P \left[X - t(\alpha, \mu); \alpha \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < X + t(\alpha, \mu); \alpha \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right] = 1 - \alpha \quad (1)$$

Avec X est la moyenne, n est le nombre d'échantillons, μ est n-1, s est l'écart type, α est Seuil de risque.

Afin de déterminer l'intervalle de confiance en calculant les limites supérieures et inférieures de la moyenne vraie de la contrainte de rupture, on applique la relation (1) aux résultats des essais de traction statique. On obtient trois intervalles de confiance correspondant aux trois cas.

- Intervalle de confiance : Fils vierges**

On a

$$X = 2249,17 ; s = 198,61 ; n = 17 ; \alpha = 0,01 ; t(\alpha; 16) = 2,921$$

Donc l'intervalle de confiance est égal:

$$\mu = 2249,17 \pm 2,921 \sqrt{\frac{39445,9}{17}} = [2108,46; 2389,87]$$

- Intervalle de confiance: Fils corrodés à 16 H**

$$\mu = 1492,58 \pm 2,921 \sqrt{\frac{79,34}{17}} = [1436,37; 1548,78]$$

- Intervalle de confiance: Fils corrodés à 32 H**

$$\mu = 729,76 \pm 2,921 \sqrt{\frac{33,23}{17}} = [706,2; 753,3]$$

3.3 Application de la distribution de Weibull

La probabilité de survie des éprouvettes subissant des contraintes mécaniques pourrait être modélisée en utilisant la distribution de Weibull suivante [6]:

$$Ps = e^{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m} \quad (2)$$

Avec Ps est la probabilité de survie, σ est la contrainte appliquée, σ₀ est le paramètre d'échelle et m c'est le module de Weibull (sans dimension).

Pour vérifier si les données obtenues à partir des résultats des essais expérimentaux sur les fils suivent une loi de Weibull, on trace les points de coordonnées (ln σ, Ln(ln(1/Ps)) pour les trois cas tels que :

$$\ln \left(\ln \left(\frac{1}{Ps} \right) \right) = m (\ln \sigma - \ln \sigma_0) \quad (3)$$

On constate que le nuage de points est rectiligne pour les fils vierges et les fils corrodés (figure 7).

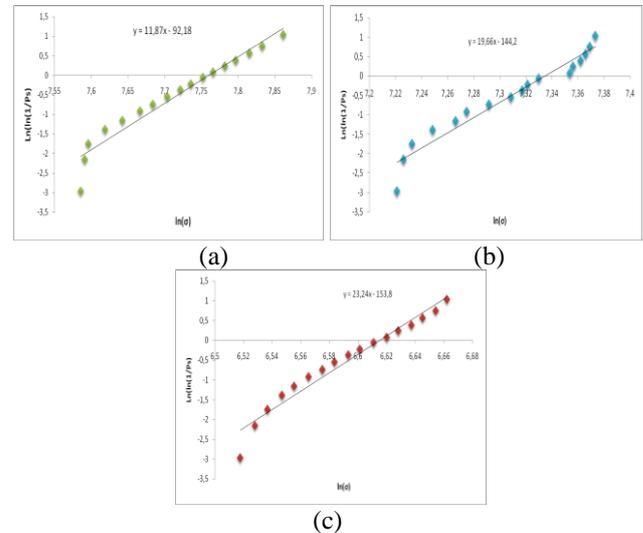


Fig. 7. Courbes de ln σ en fonction de Ln (ln (1/Ps)) (a) fils vierges, (b) fils corrodés à 16H et (c) fils corrodés à 32 H

Le tableau 3 résume les valeurs des paramètres de Weibull déterminées pour les fils vierges et corrodés.

Tableau 3. Paramètres de Weibull

Paramètres de Weibull	Fils vierges	Corrodés à 16 H	Corrodés à 32 H
m	11.87	19.66	23.24
σ ₀	2358.53	1532.55	748.37

3.3.1 Modélisation de la probabilité de survie Ps

Pour calculer la probabilité de défaillance nous avons utilisé l'équation (4)

$$Ps + Pf = 1 \quad (4)$$

Avec Ps est probabilité de survie et Pf c'est la probabilité de défaillance.

- Fils vierges**

La probabilité de survie Ps et la probabilité de défaillance pour les fils vierges Pf sont illustrées sur la figure 8.

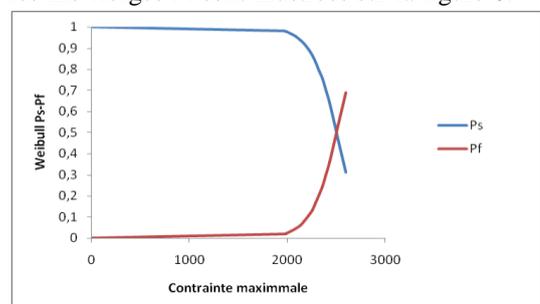


Fig. 8. Courbe de probabilité de survie - probabilité de défaillance pour les fils vierges

La contrainte maximale que l'on peut appliquer sur ce matériau pour que la probabilité de rupture soit inférieure à 1%.

C'est-à-dire que :

$$P_s > 0.99 \quad (3)$$

$$e^{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m} = 0.99 \quad (4)$$

On obtient

$$\sigma = 1600.78 \text{ MPa}$$

- **Fils corrodés à 16 heures**

La probabilité de survie et la probabilité de défaillance pour les fils corrodés à 16 heures sont illustrées sur la figure 9.

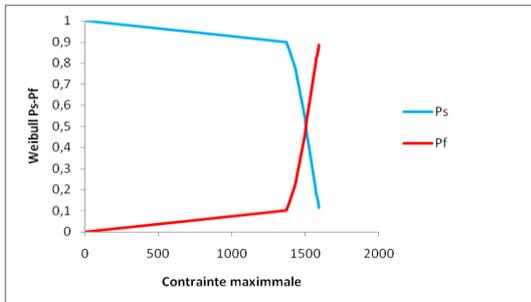


Fig. 9. Courbe de probabilité de survie - probabilité de défaillance pour les fils corrodés à 16 heures

- **Fils corrodés à 32 heures**

La probabilité de survie P_s et la probabilité de défaillance pour les fils corrodés à 16 heures sont illustrées sur la figure 10.

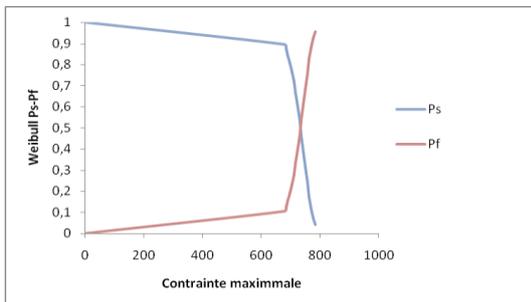


Fig. 10. Courbe de probabilité de survie - probabilité de défaillance pour les fils corrodés à 32 heures

- **Superposition des courbes de probabilité de survie - probabilité de défaillance pour les fils vierges et corrodés**

La superposition de l'ensemble des courbes obtenues est présentée sur la figure 11.

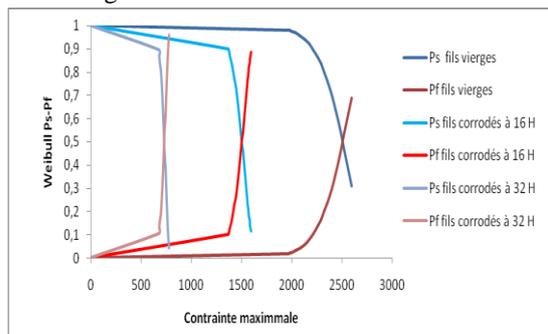


Fig. 11. Superposition des courbes de probabilité de survie et probabilité de défaillance de la contrainte maximale pour les fils vierges et corrodés

Selon la figure 11, nous avons constaté une diminution de la fiabilité dans les cas des fils corrodés qui correspond à 40% pour les fils corrodés à 16 heures et à 70 % pour les fils corrodés à 32 heures. Ce que nous a permis d'observer l'effet de corrosion sur le comportement des fils.

4. Conclusion

La répartition de Student nous a permis de déterminer les intervalles de confiance pour les fils vierges, les fils corrodés à 16 heures et à 32 heures.

D'autre part, l'étude de loi de Weibull nous a permis de tracer les courbes de probabilité de survie et probabilité de défaillance pour les fils vierges et corrodés et par conséquent comprendre les effets de corrosion sur la durée de vie des fils.

Une grande diminution de la fiabilité a été remarquée dans le cas des fils corrodés à 32 heures, donc à ce stade le dommage par corrosion devient très important et incontrôlable.

RÉFÉRENCES

- [1] V.Oksanen, & al «Characterization of the wear of nodular cast iron rollers in contact with wire ropes» *Wear* 308 (2013) 199–205.
- [2] Hebeish, A. and El-Rafie, M. H. *American Dyestuff Reporter*, 79(7), 1990, pp. 34.
- [3] S.M. Elachachi, & al « A probabilistic multi scale time dependent model for corroded structural suspension cables» *Probabilistic Engineering Mechanics* 21 (2006) 235–245.
- [4] Norme ISO 3108 (Organisation Internationale de Normalisation), "Norme des Câbles en acier d'usages courants"
- [5] M.Meknassi, & al, «Experimental study of wires extracted from steel wire rope and exposed to sulfuric acid» *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*, Volume 3, Issue 4, April 2015, ISSN 2321-6441.
- [6] H.Ouaoumar, & al «Mechanical behavior and statistical study of aluminum wires belonging to low voltage underground electrical cable» *The International Journal of Engineering and Science*, Volume 3, Issue 4, April 2015, pp06-10
- [6] M. CHAHID « Optimisation fiabiliste de l'endommagement en fatigue d'un matériau composite » 1995