

Comportement mécanique et étude statistique des fils de cuivre pour un câble électrique souterrain basse tension

[Mechanical behavior and statistical study of copper wires belonging to low voltage underground electrical cable]

Hanaa OUAOMAR, Nadia MOUHIB, Bouchra SAADOUKI, Mohammed LAHLOU, and Mohamed EL GHORBA

Laboratoire de Contrôle et de Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS). Equipe ECCM, Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Route d'Eljadida Km 7, BP 8118 Oasis 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: The strength of the copper wire and reliability of electrical contacts are the essential reason for their widespread use throughout the industry of electrical engineering in the distribution of electrical energy, and in the manufacture of electrical equipment and electrical components. Unfortunately, this property is altered by the presence of certain mechanical stress, which influences thereafter the mechanical characteristics of son and disrupts the functioning of electrical cable and electrical installation specially in general. This issue therefore requires first an understanding of the mechanical characteristics as well as an expanded study of the mechanical behavior of the material.

The study is based on the mastery of mechanical behavior of copper wire to improve and optimize the mechanical and electrical characteristics of the cables, another summer in characterizing component considered during this study, it is a statistical study Student of which allowed us to select the most reliable results with a risk threshold of 10% on the other hand, we perform a statistical study Weibull which enabled us to extract the Weibull elements and thereafter define the law of reliability and Weibull damage.

KEYWORDS: Weibull, electrical wire, reliability, damage, mechanical characteristics.

RÉSUMÉ: La solidité du fil de cuivre et la fiabilité des contacts électriques qu'il permet d'obtenir sont les raisons essentielles de leur emploi généralisé dans toute l'industrie de la construction électrique, dans la distribution de l'énergie électrique, ainsi que dans la fabrication de matériels électriques et de composants électriques. Malheureusement, cette propriété est altérée par la présence de certaines contraintes mécaniques, ce qui influence par la suite les caractéristiques mécaniques des fils et perturbe le fonctionnement du câble électrique spécialement et l'installation électrique en général. Ce problème nécessitant donc en premier lieu une connaissance des caractéristiques mécaniques ainsi qu'une étude élargie du comportement mécanique du matériau.

L'étude est basée sur la maîtrise du comportement mécanique des fils de cuivre pour améliorer et optimiser les caractéristiques mécaniques et électriques des câbles, un autre volet de caractérisation a été pris en considération pendant cette étude, il s'agit d'une étude statistique des Student qui nous a permis de sélectionner les résultats les plus fiables avec un seuil de risque de 10% ,d'autre part, nous avons effectué une étude statistique de Weibull qui nous a permis d'extraire les éléments de Weibull et par la suite définir les lois de fiabilité et du dommage de Weibull .

MOTS-CLEFS: Weibull, Fil électrique, Fiabilité, Dommage, Caractéristiques mécaniques.

1 INTRODUCTION

Le cuivre occupe une place importante dans le transport de l'énergie électrique, à cause de sa bonne conductibilité électrique et thermique. Associées à une conductibilité élevée donc la caractéristique principale du cuivre est sa qualité de bons conducteurs de l'électricité associée à une conductibilité élevée. Le travail de Bensaada [1] consiste à décrire un bilan des connaissances acquises sur la déformation et la recristallisation des fils électriques de cuivre, ainsi que mettre en évidence les différents facteurs ayant des effets sur les caractéristiques ci-dessus citées et d'autre part apporter une nouvelle gamme de traitements thermomécaniques appropriée à l'amélioration des propriétés, MOSBAH et al [2] ont étudié l'évolution de la microstructure et les propriétés mécaniques des fils tréfilés et recuits à 160°C, ainsi que l'influence combinée du taux de déformation par tréfilage à froid et de la température de recuit sur la cinétique de recristallisation des Fils de Cuivre tréfilés à froid.

L'objectif de notre travail est de traiter le comportement mécanique des fils électriques en cuivre tout en appuyant nos résultats par une étude statistique qui traite la fiabilité des résultats obtenus.

2 EXPÉRIMENTATION

2.1 CARACTÉRISATION CHIMIQUE

Dans un premier temps, nous avons effectué une composition chimique des brins de cuivre du câble souterrain BT U100R2V, nous avons trouvé les résultats indiqués dans le tableau1:

Tableau 1. Caractérisation chimique du conducteur du câble U1000R2V

Ti (%)	Au (%)	C (%)	Nb (%)	Si (%)	Te (%)	Cu (%)
0.0025	0.002	0.048	0.015	0.0022	0.015	99.77

2.2 CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

POUR CARACTERISER MECANIQUEMENT CE MATERIAU, NOUS AVONS APPLIQUE UN ESSAI DE TRACTION SUR 5 EPROUVETTES NORMALISEES (300 MM).

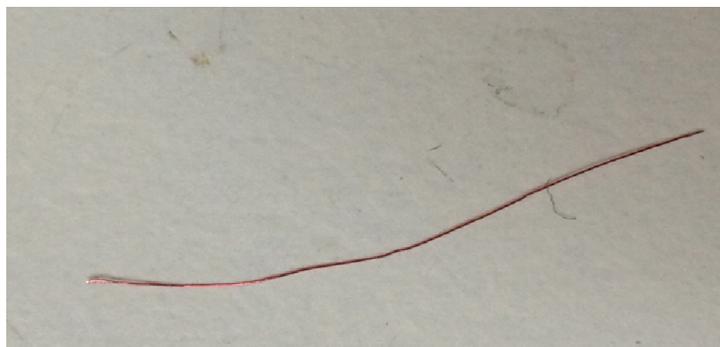


Fig. 1. Eprouvette de brins en cuivre du câble U1000 R2V (300 mm)

La Figure 1 représente les différentes courbes contrainte en fonction de la déformation.

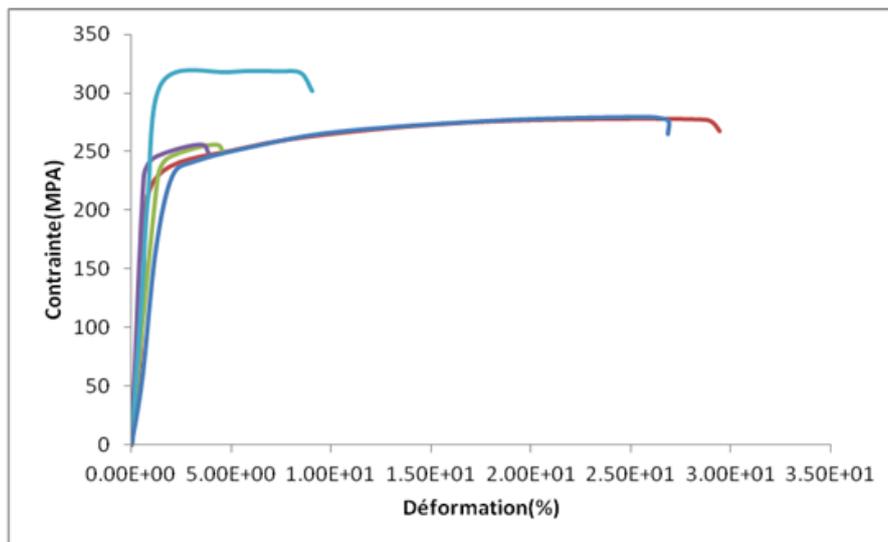


Fig. 2. Courbe des différentes éprouvettes en brins de cuivre relatif au câble R2V U1000

Ainsi, les différentes caractéristiques mécaniques sont représentées dans le tableau II.9 ci-dessus :

Tableau 2. Caractéristiques mécaniques des brins cuivre relatif au câble R2V U1000

σ_e (%)	σ_r (%)	ϵ (%)	E (%)
358	0.002	0.048	0.015

Avec :

σ_e : Limite élastique du matériau.

σ_r : Résistance à la rupture.

ϵ : Déformation.

E : module de Young.

Le cuivre utilisé dans l'industrie des fils

3 ETUDE STATISTIQUE DES BRINS EN CUIVRE ET CHOIX D'INTERVALLE DE CONFIANCE

Pour faire une étude statistique sur la fiabilité des résultats des essais effectués sur les fils d'aluminium étudiés, nous avons effectué un essai de traction sur 24 éprouvettes des fils. Les résultats de ces essais sont présentés dans la figure 2.

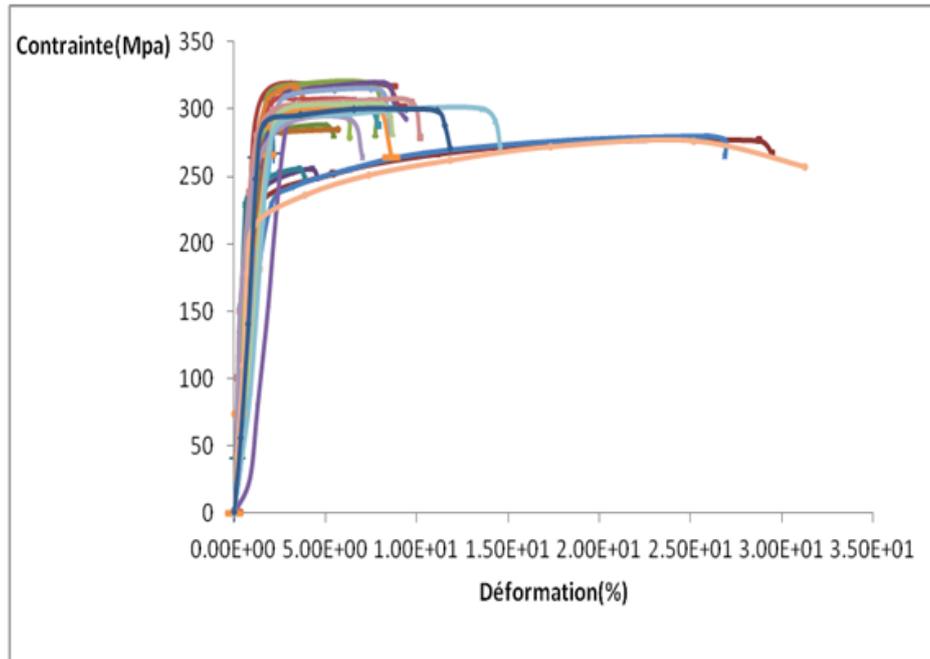


Fig. 3. Courbe des différentes éprouvettes (24 éprouvettes) en brins de cuivre relatif au câble U1000R2V

Nous allons utiliser la distribution de STUDENT pour identifier l'intervalle de confiance adéquat, la loi STUDENT permet de déterminer un intervalle de confiance dans lequel les valeurs limites de la contrainte maximales ont 90 chances sur 100 d'encadrer la moyenne de la distribution des essais de traction.

Tableau 3. caractérisation chimique du conducteur du câble U1000R2V

EPROUVETTE	CONTRAINTÉ MAXIMALE	MOYENNE	ECART-TYPE
1	276.781	295.85	18.0183999
2	288.257		
3	255.741		
4	255.9		
5	281.86		
6	284.975		
7	318.415		
8	318.366		
9	319.189		
10	300.869		
11	317.247		
12	279.568		
13	307.365		
14	296.189		
15	301.134		
16	301.399		
17	302.098		
18	314.983		
19	306.279		
20	303.973		
21	300.959		
22	292.308		
23	276.147		
24	300.336		

L'intervalle de confiance est donc l'ensemble des valeurs raisonnablement compatibles avec le résultat observé (l'estimation ponctuelle). Il donne une visualisation de l'incertitude de l'estimation.

Dans un travail antérieur, nous avons expliqué la méthode d'extraire l'intervalle de confiance des résultats obtenus [3]

Notre intervalle de confiance relatif au cas des fils en cuivre est le suivant :

$$IC=[289.54 ;302.15]$$

Donc les éprouvettes qui existent dans l'intervalle de confiance sont :

Tableau 4. Epreuve acceptées dans l'intervalle de confiance

EPROUVETTE	CONTRAINTE MAXIMALE
1	133.89
6	130.651
9	133.716
15	130.774
16	133.028
18	133.333
22	131.337

4 MISE EN PLACE DE LA STATISTIQUE DE WEIBULL SUR LES CONTRAINTES MAXIMALES D'UN FIL DE CUIVRE DU CÂBLE U1000R2V

Nous allons étudier ainsi une autre technique statistique sur les résultats expérimentaux de traction des fils de cuivre du câble U1000R2V, il s'agit de la méthode statistique de Weibull. Le but de cette étude est de réaliser un traitement statistique sur ces données afin d'en déduire la contrainte maximale que l'on peut appliquer sur ce matériau pour que la probabilité de rupture soit inférieure à 1%.

Il s'agit dans cette partie de vérifier que les éprouvettes de cuivre suivent une statistique de Weibull[4] . Si on note P_s , la probabilité de survie à une contrainte, une éprouvette suit la statistique de Weibull s'il existe m , le module de Weibull et une constante, tel que l'on ait

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

Ainsi, on va tracer la courbe $\ln \sigma$ en fonction de $\ln(\ln(1/P_s))$ et vérifier si la courbe est une droite [5] .

Nous avons trouvé la courbe suivante :

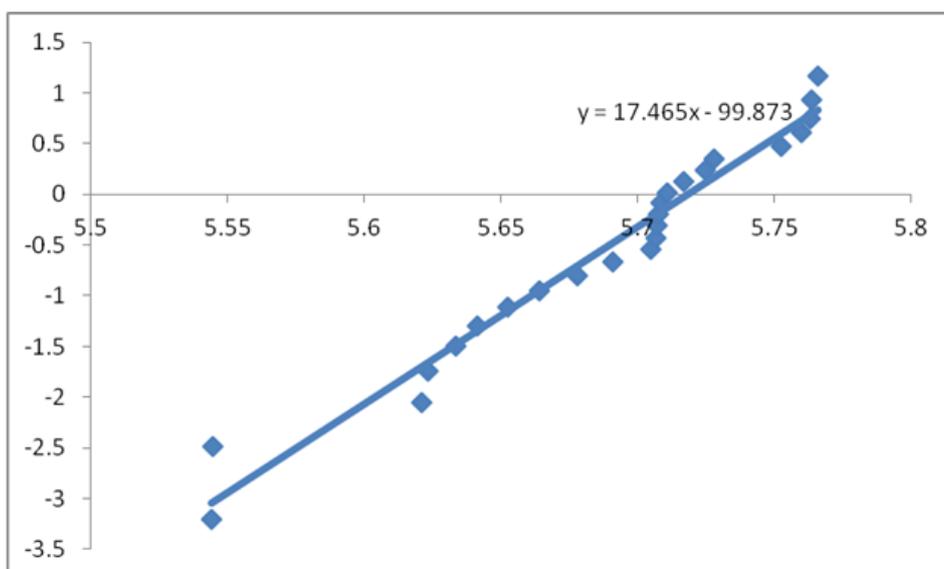


Fig. 4. Courbe de $\ln \sigma$ en fonction de $\ln(\ln(1/P_s))$

On peut voir sur cette courbe que l'on obtient sensiblement une droite ce qui valide le fait que ces éprouvettes de cuivre suivent bien la statistique de Weibull.

Ce qui donne une valeur pour m, le coefficient de Weibull :

$$m = 17.46$$

Et concernant σ_0

$$\sigma_0 = 305.33$$

On peut ainsi modéliser la probabilité de survie de l'éprouvette subissant une contrainte grâce au modèle de Weibull suivant :

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

Les courbes de probabilité de survie et la probabilité de rupture seront celles présentées dans la figure 5

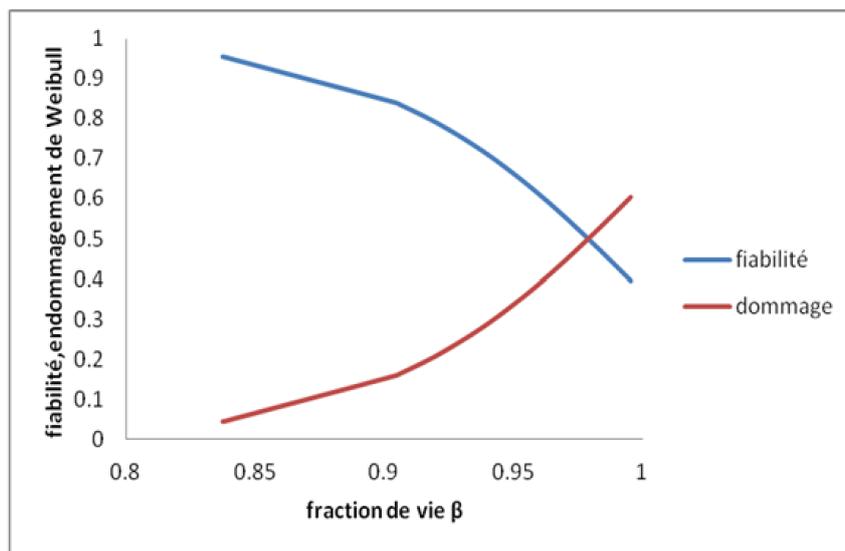


Fig. 5. Courbe de Fiabilité-Dommage en fonction de fraction de vie

Il s'agit désormais d'estimer 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 :

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

On a montré que nos éprouvettes suivent bien une statistique de Weibull. On a ainsi à résoudre :

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

On obtient ainsi la valeur de la contrainte maximale que l'on peut appliquer sur ce matériau pour que la probabilité de rupture soit inférieure à 1% :

$$\sigma = 234.63 \text{ MPA}$$

5 CONCLUSION

Le conducteur en cuivre du câble BT U1000R2V représente un allongement important arrive a 35%, il représente une contrainte élastique élevée qui atteint 350 MPA, c'est un cuivre recuit partiellement qui a les caractéristiques mécaniques élevées.

Dans une étude statistique de STUDENT de 24 éprouvettes de cuivre nous avons extrait 7 éprouvettes finales avec les résultats fiables souhaités avec un seuil de risque de 10 %, on a remarqué une faible dispersion des résultats des éprouvettes ce qui nous mène à un comportement uniforme du cuivre étudié.

D'autre part, l'étude de loi de WEIBULL nous a permis de tracer la courbe de fiabilité et d'endommagement, l'intersection entre ces deux allures a donné la fraction de vie critique qui est égale à 0.975 , c'est-à-dire qu'à partir d'une contrainte maximale égale à 297.70 MPA, le fil électrique en cuivre arrive au stade de rupture brutale et incontrôlable.

RÉFÉRENCES

- [1] S.BENSAADA , L. BOUZIDI, L. B., " Effet des traitements thermomécaniques sur les propriétés mécaniques et électriques du câble ELECTRIQUE (CUIVRE ET ALUMINIUM) ," thèse de Doctorat pp. 280–286, 2013. Université de Batna (2005) .
- [2] Mosbah Zidani, Salim Messaoudi , Thierry Baudin, Chemesddine Derfouf et Marie.Hélène , Mathon "Effet du Taux Déformation et la Température de Recuit sur la Cinétique de Recristallisation des Fils de Cuivre Tréfilés à Froid, Journées d'Etudes Nationales de Mécanique, JENM'2011, vol. 1, no. 2, pp. 280–286, 2011.
- [3] H.Ouaomar, N.Mouhib, M.Lahlou, M. El Ghorba . "Mechanical behavior and statistical study of aluminum wires belonging to low voltage underground electrical cable" *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 4, no. 3, pp. 06–10, 2015.
- [4] P.CHAPOUILLE, R.DE PAZZIS "Reliability of systems" pp.258-259, 1968.
- [5] Jean-Baptiste LEPRETRE, "Statique de WEIBULL" *Deuxième année Cours électif CE42 , Ecole de NANCY , France , 2010.*