

Simulation électromécanique 3D d'un conducteur 1+6 avec prise en compte des résistances de contact inter-brins

Youcef ZEROUKHI*, Guillaume VEGA

**Lille Nord de France, F-59000 Lille, France,*

Société Nexans NRC Lens, Bd de Marais, 62301 Lens, France.

Ewa NAPIERALSKA JUSZCZAK, Fabrice MORGANTI

Lille Nord de France, F-59000 Lille,

France, LSEE, UA, Technoparc Futura, F-62400 Béthune, France.

Krzysztof KOMAZA

*Université technique de Lodz, Institut de mécatronique et des systèmes d'information,
90-924Lodz, Stefanowskiego18/22, Poland*

RESUME – Dans cet article, nous proposons une méthode d'analyse par éléments finis 3D, pour prédire le comportement électrique d'un conducteur (1+6). À notre connaissance, les modèles de la littérature reposent sur des géométries statiques, négligeant ainsi les déformations mécaniques réelles du conducteur ainsi que les conditions électriques des interfaces de contact. En réalité, la performance d'un conducteur dépend de la nature du matériau, de son état métallurgique, de la pression mécanique ainsi que de la résistance électrique des zones de contact inter-fils, etc. Dans ce travail, une première analyse mécanique permet de reproduire le processus de câblage pour déterminer les déformations élasto-plastiques des fils, la forme et les pressions dans les interfaces de contact. Une seconde analyse électrique en CC est menée pour déterminer la résistance électrique du conducteur déformé. La résistance de contact tangentielle et radiale est alors prise en compte. Enfin, les résultats obtenus sont confrontés aux mesures expérimentales pour vérifier la fiabilité des modèles numériques.

MOTS-CLES – Éléments finis 3D, conducteur électrique, résistance de contact, câblage, Abaqus, déformations élasto-plastiques, Courant continu.

1. Introduction

Le processus de fabrication des conducteurs électrique comporte de nombreuses étapes comme le tréfilage, le câblage et le compactage, l'extrusion, l'assemblage, etc. Ce travail porte sur l'analyse d'un conducteur 1+6 à la fin du processus de câblage et de compactage. Cette étape est une opération d'assemblage de brins en couches concentriques torsadés en hélice autour d'un fil central. Dans la figure 1, sont représentés en a) la machine de câblage par torsion et en b) le point de câblage et de compactage. Durant l'assemblage, plusieurs phénomènes physiques coexistent. En effet, les fils sont soumis à des forces de traction et de torsion, des forces de compression dues à la filière de compactage et à des forces tangentielles générées par le frottement des fils entre eux et de la couche extérieure du conducteur avec la filière. Tous ces paramètres peuvent affecter l'état métallurgique du matériau des fils et altérer les performances du conducteur. À notre connaissance, les modèles existants reposent sur des géométries statiques négligeant ainsi les déformations réelles des fils ainsi que les conditions électromécaniques dans les zones de contact [1], [2], [3]. Certains de ces modèles sont basés sur des hypothèses géométriques, pour éviter les interférences de contact inter-fils [4]. En théorie, dans un conducteur concentrique avec une composition classique (1 + 6 + 12...) il n'y a pas assez de place pour tous les fils. Cependant, pour le cuivre et l'aluminium, les matériaux sont assez doux. De plus, les déformations élasto-plastiques, ainsi que les pressions de contact générées durant le processus de fabrication, vont changer la forme des fils et réduiront leurs dimensions, de façon à pouvoir se mettre en place. Le but de cette étude est d'analyser l'impact des déformations générées par le processus de câblage et de compactage sur les propriétés électriques du conducteur. L'originalité de ce travail, consiste à prendre en compte la géométrie déformée du conducteur ainsi que la résistance de contact inter-fils.

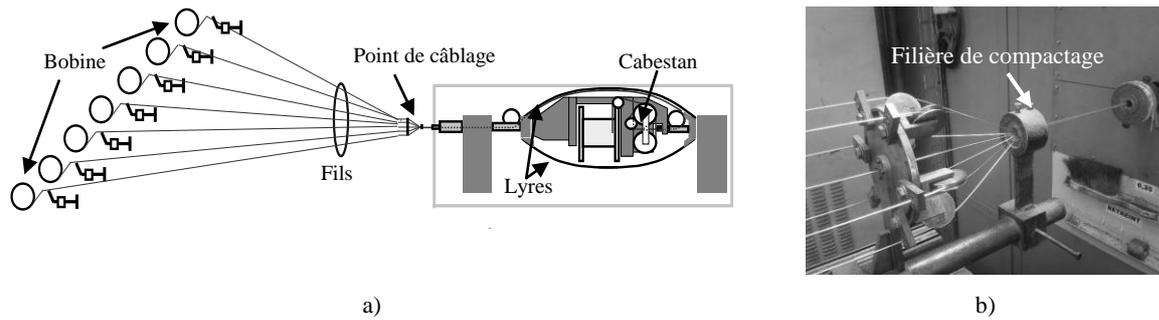


Figure 1: Principe de câblage: a) Machine de câblage par torsion, b) Point de câblage et de compactage

2. Modélisation mécanique du câblage et compactage du conducteur

Le modèle mécanique reproduit l'opération de câblage et de compactage. Les simulations sont effectuées en quasi-statique avec le module explicite du logiciel Abaqus. Cette analyse mécanique, nous permettra d'approcher les déformations réelles des fils ainsi que les pressions et la forme des contacts. Les conditions limites du modèle mécanique sont montrées dans la figure 2.

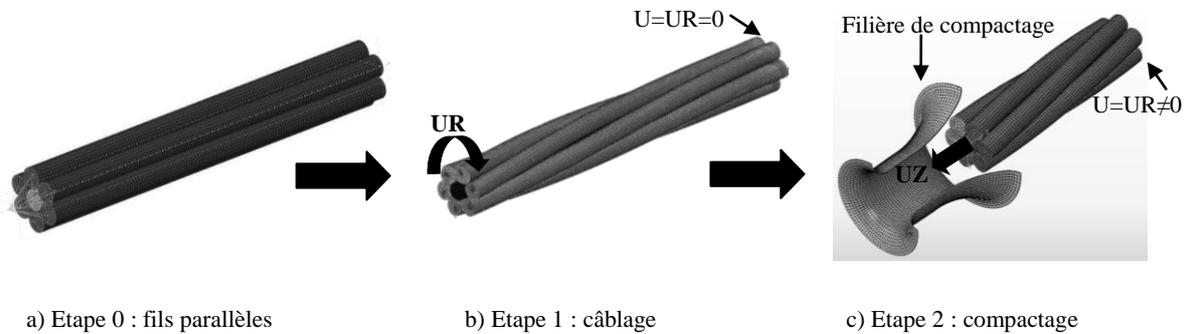


Figure 2: Les conditions aux limites du modèle mécanique sur Abaqus.

3. Modélisation électrique du conducteur

Les simulations électriques en courant continu sont effectuées en utilisant le module thermoélectrique du logiciel Abaqus. Le modèle développé, consiste à soumettre la structure déformée à une différence de potentiel électrique entre les deux surfaces extrêmes du conducteur, figure 3. Les simulations sont effectuées sous une température fixée à 20°C. La résistance électrique de contact radiale (R_{c_r}) et tangentielle (R_{c_t}), entre les fils, est prise en compte en spécifiant une conductance de contact caractérisée expérimentalement [5]. Le circuit électrique équivalent du conducteur 1+6 est donné en figure 4.



Figure 3. Les conditions aux limites du modèle électriques sur Abaqus.

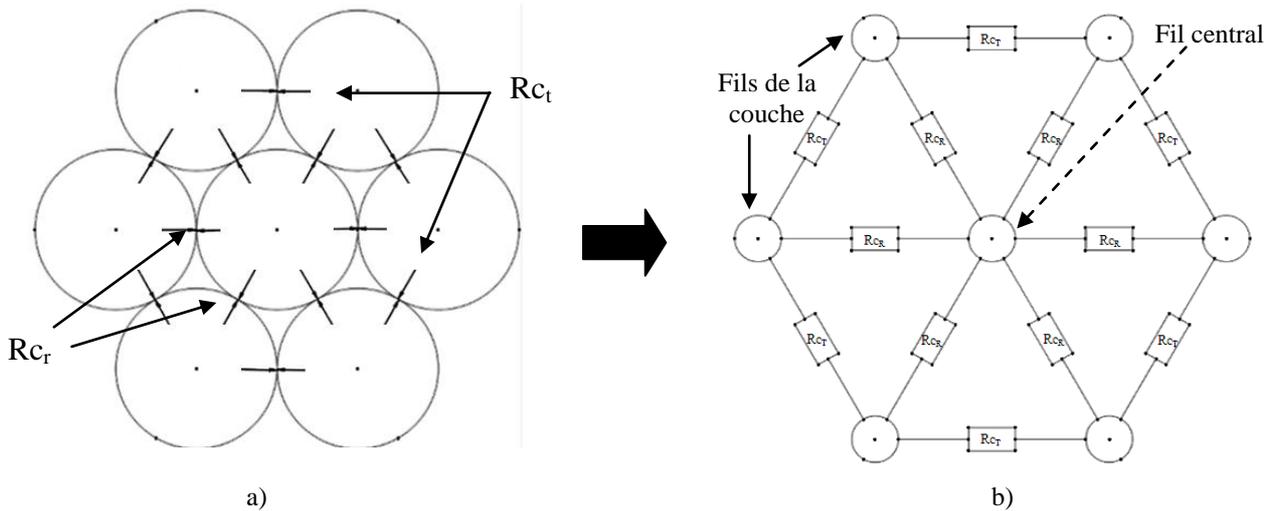


Figure 4. a) Représentation des contacts radiaux et tangentiels des fils du conducteur, b) Circuit électrique équivalent du conducteur 1+6 (la source du courant et la mise à la terre ne sont pas représenté)

4. Conclusion

Dans cet article, une nouvelle méthode est présentée pour prédire le comportement mécanique et électrique d'un conducteur concentrique 1+6. Les déformations élasto-plastiques des fils dues au processus de fabrication ainsi que les résistances de contact sont, alors, prises en compte. Un circuit équivalent a été proposé. Les résistances de contact sont caractérisées expérimentalement en utilisant la méthode Kelvin (4 points). De plus, l'altération de la conductivité du matériau due au processus de fabrication a été déterminée. Enfin, les résultats numériques seront comparés aux mesures expérimentales, effectuées sur un conducteur réel, pour vérifier la fiabilité des modèles développés.

5. Références

- [1] Costello, G A. Theory of wire rope, Springer Verlag New York, 1990.
- [2] Holm, R. Electric contacts: Theory and applications, 4th ed. Berlin, Springer Verlag, 1979.
- [3] Raouf, M., Kraincanic, I. Simple derivation of the stiffness matrix for axial/torsional coupling of spiral strands, Computers and structures, 55, 4, 589-600. 1995
- [4] Messager T., Comportement élastique des câbles à 6 torons – résultats MEF et analytique. 2003
- [5] Y. Zeroukhi. E. Napieralska-Juszczak. K. Komeza. F. Morganti. G. Vega. "Identification of current flow depending on the mechanical deformation in a stranded cable". Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. Volume 55, 2012.