

# COMPARAISON ENTRE LE COMPORTEMENT MECANIQUE EXPERIMENTAL ET LA SIMULATION NUMERIQUE D'UN TORON EN ACIER CONSTITUANT UN CÂBLE METALLIQUE DE LEVAGE DE TYPE 19x7

N.MOUHIB<sup>1</sup>, M.BARAKAT<sup>2</sup>, M. LAHLOU<sup>1</sup>, H. OUAOMAR<sup>3</sup> et M.EL GHORBA<sup>1</sup>

1 : Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS), Casablanca, Maroc, [mouhib.nadia@gmail.com](mailto:mouhib.nadia@gmail.com)

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

3 : Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal

## Résumé

Le présent article a pour objectif la simulation numérique du système complexe d'un toron composé de 7 fils (1+6) appartenant à un câble métallique de levage de type 19x7 et comparer par la suite les résultats numériques obtenus avec ceux expérimentaux préalablement établis. Pour cela, dans un premier temps une conception du toron étudié a été réalisée en se servant du logiciel CATIA V5 comportant le design du fil central ainsi que les 6 fils hélicoïdaux. Ensuite, une simulation d'un essai de traction a été effectuée à l'aide du logiciel de simulation ABAQUS/CAE, dans lequel le modèle sur CATIA V5 a été importé et une étude précise a été faite pour rapprocher le modèle le plus possible au comportement mécanique réel du toron. La comparaison au final a s'est montré conforme avec une erreur relative de 3.14%.

**Mots clés:** *Toron, câble métallique, simulation numérique, essai de traction, résultats expérimentaux.*

## 1. Introduction

Le recours aux méthodes numériques est de plus en plus fréquent en raison de leur faible coût et leur rapidité. Cette intense utilisation est encouragée par la possibilité d'intégrer au code de calcul par éléments finis utilisé, des descriptions précises des phénomènes mis en jeu tels que les lois de comportement et les critères de rupture.

Dans cet article, l'objectif est de mettre au point le modèle EF du toron (1+6) et le comparer avec le résultat expérimental. Il s'agit donc de contrôler la fiabilité de ce modèle, et donc notamment sa convergence, au sens numérique du terme. On étudie le toron de configuration donnée, et on présente pour commencer ses caractéristiques géométriques et matérielles. Puis sont exposés les conditions aux limites et le chargement (à partir desquels le comportement axial du toron pourra être caractérisé), le maillage, et la prise en compte du contact.

## 2. Expérimentation

### 2.1 Matériel

Notre approche consiste à étudier le comportement d'un toron appartenant au câble métallique de levage de type 19x7 de constructions antigiratoire (le premier nombre fait référence au nombre de torons dans le câble et le second au nombre de fils par toron) (figure1), le câble est de diamètre 7mm, composé de l'acier clair graissé, à âme métallique, croisé à droite, préformé, il est principalement utilisé comme câble de gréage pour tous les types de grues ainsi que pour l'exploration en haute mer grâce à son excellente résistance à la déformation.

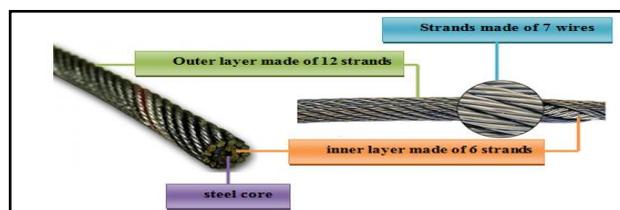


Figure 1. Eléments constitutifs d'un câble métallique Câble métallique de levage de type 19x7 de construction antigiratoire

Les torons étudiés sont constitués de 7 fils individuels, un fil central et 6 fils périphériques disposés en hélice autour du fil central. En vue d'obtenir des éprouvettes du toron, une longueur convenable a été coupée du câble et les torons ont été décablés. La longueur minimale de l'échantillon de toron est égale à la longueur d'essai plus celle nécessaire à l'amarrage. Par conséquent, une longueur de 300 mm a été prévue comme étant la longueur d'essai pour les torons. La tolérance de mesure en longueur est de  $\pm$  un millimètre pour l'ensemble des échantillons prélevés [1].

### 2.2 Méthodes expérimentales

L'ensemble des éprouvettes a été testé en traction monotone selon la norme NF EN 10002-1 à déplacement imposé correspondant à une vitesse de déformation de 2mm/min. Les essais ont été réalisés dans les conditions d'air et de température ambiante ( $\approx$  20 à 24°C) sur une machine de type Zwick Roell avec une cellule d'effort de  $\pm$ 10 kN.

L'éprouvette d'essai est fixée entre deux mâchoires, la traverse mobile se déplace à une vitesse fixe jusqu'à la fin d'essai (la rupture). Tout doit être mis en œuvre pour que les éprouvettes soient fixées de façon que la charge soit appliquée aussi axialement que possible. Pour cela nous avons utilisé des cales vissées au niveau des extrémités des torons afin d'éviter tout glissement possible entre les fils.

La figure 2 montre le montage avec une vue rapprochée sur l'éprouvette.



Figure 2. Montage expérimental et éprouvette toron extraite d'un câble

### 2.3 Résultat expérimental

L'ensemble des tests menant à la rupture des spécimens de torons prélevés d'un câble métallique de levage a permis de tracer l'allure de la courbe de traction qui représente l'évolution de la force appliquée sur l'éprouvette toron (N) en fonction du déplacement (mm) (Figure 3) [ 2]

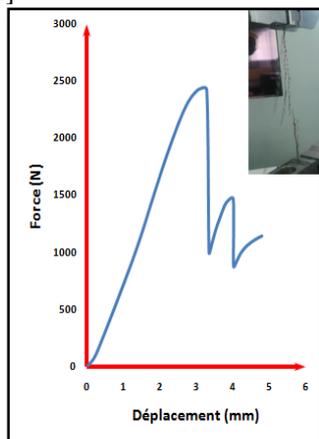


Figure 3. Evolution de la force (N) en fonction du déplacement (mm) du toron

## 3. Simulation numérique

### 3.1 Caractérisation géométrique

Pour la modélisation géométrique du toron étudié, on a eu recours à la conception assistée par ordinateur du logiciel CATIA V5.

Pour modéliser le toron (6+1), on va modéliser chaque fil à part, après on va les rassembler pour avoir la conception finale du toron.

La première démarche à suivre est la définition des paramètres propres à chaque composant à savoir :

- Les rayons de l'âme et des fils sont identiques :  $R = 0.3$  mm.
- Le pas des fils est : Pas = 19.1 mm.
- La longueur du toron étudié est :  $H = 200$  mm.

Après la conception de l'âme droite cylindrique, on définit la courbe de l'hélice dont le point de départ est le centre de coordonnées  $(2R, 0)$ , et son axe est l'axe  $z$ . Les valeurs du pas et la longueur sont déjà prédéfinies. On obtient le fil hélicoïdal par la fonction nervure, en choisissant comme profil le cercle défini dans l'esquisse, et l'hélice comme courbe guide, en contrôlant le profil par une surface de référence, on a choisi le plan  $(xy)$ .

On répète les mêmes opérations pour les autres fils en changeant l'esquisse qui définit le cercle (le centre de cercle de chaque fil définit un angle de  $60^\circ$  par rapport au centre du fil qui le précède.

Le modèle géométrique du toron créé dans CATIA V5 a été importé dans le logiciel des éléments finis ABAQUS / Explicit, qui a été utilisé pour cette étude numérique.

### 3.2 Discrétisation et maillage du modèle

Plusieurs formulations d'élément sont disponibles dans la bibliothèque de ABAQUS/explicit. Pour ce modèle, on a opté pour « eight-node linear brick, reduced integration, hourglass control type element (C3D8R element) » pour la discrétisation de la structure.

### 3.3 Création et définition des interactions

Il faut prendre en compte le contact qui existe entre les fils [3]. Pour ce fait, une interaction de type « General contact » a été établie. Dans la définition de cette interaction on mentionne qu'elle se crée dans initial step. On choisit l'option « all with self » pour que ABAQUS prenne en compte le contact entre les fils. Il faut définir également les propriétés du contact en choisissant un comportement tangentiel « Tangential Behavior » pour les propriétés mécaniques avec un coefficient de frottement égale 0.3.

### 3.4 Création des Sets

Dans un premier temps, on crée un nouveau point décalé par rapport au point de centre de l'extrémité mobile par la fonction « Offset from point » et on le définit comme point de référence .

Trois sets ont été créés qui serviront à l'extraction des données ainsi que dans la définition de l'équation du mouvement de l'extrémité mobile, les conditions limites et le chargement.

Set-RP, set-PUSH, set-RF désignant respectivement le point de référence, l'extrémité mobile, et l'extrémité fixe. Par la suite il faut définir une équation entre ce point de référence et l'extrémité mobile pour qu'ils aient les mêmes mouvements.

### 3.5 Chargement et conditions aux limites

- Encastrement : empêcher tout mouvement possible pour l'extrémité fixe autrement dit pour la set-RF (figure 4.a).
- Guidage : empêcher le mouvement suivant l'axe x et l'axe y pour le modèle complet sauf l'extrémité fixe (figure 4.b).
- Chargement : créer une force suivant la direction de l'axe z. Le chargement simulé est une sollicitation en traction selon l'axe longitudinal des fils d'une amplitude égale à 2128.5 N. Qui représente la force maximale du toron étudié (figure 4.c).

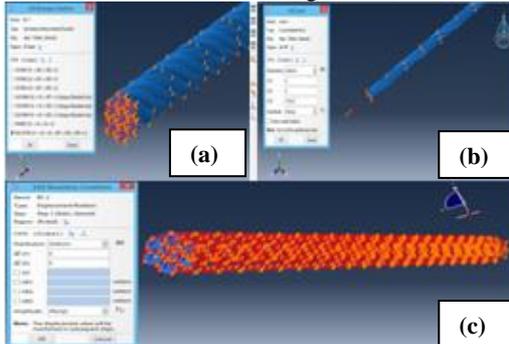


Figure 4. Chargement et conditions limites

### 3.6 Visualisation des résultats

#### ➤ Contrainte de VON-MISES

La contrainte de Von-Mises est déterminée (figure 5). Le toron étudié reste dans le domaine élastique tant que la contrainte équivalente de Von-Mises est inférieure à une valeur déterminée par l'essai de traction.

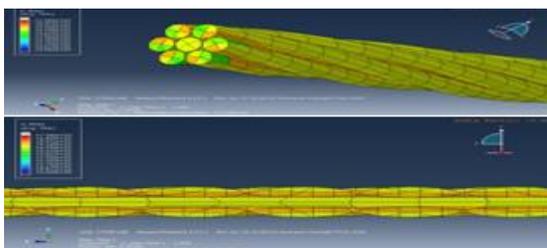


Figure 5. Contrainte de Von-Mises

On remarque que les surfaces en contacts sont les plus sollicitées où il y a une concentration de contrainte.

#### ➤ Allongement élastique

L'allongement élastique est une caractéristique recherchée dans toutes études des câbles métalliques. La capacité d'un câble de s'allonger sous le poids d'une charge signifie que ce câble peut absorber de l'énergie. L'allongement élastique se produit aussitôt qu'une charge est appliquée.

Les résultats de l'allongement élastique du toron soumis à une charge de 1,7 KN, obtenus par l'analyse par EF sont visualisés sur la figure 6.

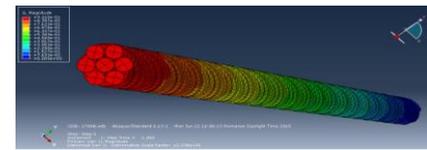


Figure 6. Allongement du toron

Ces résultats nous ont permis de mesurer l'allongement numérique à chaque force appliquée correspondante et par la suite tracer la courbe de traction à la phase élastique numériquement et comparer avec le résultat expérimental comme montré sur la figure 7.

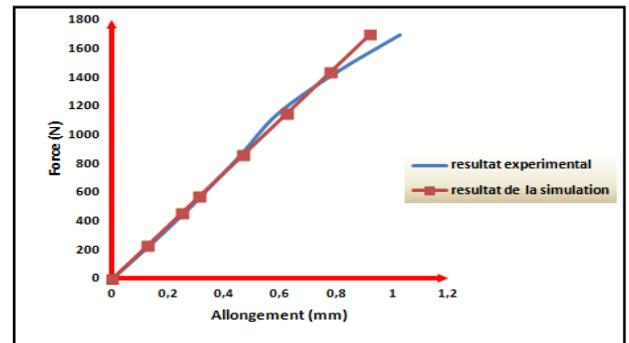


Figure 7. Comparaison des résultats de l'allongement en fonction de la force appliquée entre le modèle numérique et les résultats expérimentaux

L'erreur relative calculée qui illustre l'écart entre les résultats numériques et expérimentaux est de 3,14 %.

## 4. Conclusion

Sur la base des résultats fournis par le protocole expérimental, une étude numérique par éléments finis sur un toron (1+6) a été effectuée. Le modèle numérique est validé par les résultats expérimentaux avec une erreur relative de 3,14 %.

Les perspectives à court terme, sur le plan numérique est la modélisation du câble antigiratoire 19x7 en entier.

## Références

- [1] EN 10002-1. *Metallic materials – Tensile testing-Part 1: Method of test at ambient temperature*. European Standard: 2001 has the status of a DIN Standard.
- [2] Mouhib. N., *Etude multi-échelles du comportement mécanique d'un câble métallique de levage de type antigiratoire (19x7) soumis à des chargements statiques et prédiction de sa durée de vie: expérimentale, analytique et numérique*. Thèse de doctorat, ENSEM. MAROC. 2015
- [3] Mercuri. V, "Shape Memory Alloys Strands: Conventional 3D FEM Modeling and Simplified Models" Phd Università degli Studi di Pavia. Facoltà di Ingegneria. Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura. 2014.