



**HAL**  
open science

## Simulation du passage de câbles tressés synthétiques sur une poulie

Thanh Do Vu, Damien Durville, Peter Davies

► **To cite this version:**

Thanh Do Vu, Damien Durville, Peter Davies. Simulation du passage de câbles tressés synthétiques sur une poulie. 11e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2013, Giens, France. hal-01722076

**HAL Id: hal-01722076**

**<https://hal.science/hal-01722076>**

Submitted on 2 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

## Simulation du passage de câbles tressés synthétiques sur une poulie

Thanh Do VU<sup>1</sup>, Damien DURVILLE<sup>2</sup>, Peter DAVIES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFREMER Centre de Brest, Service Matériaux et Structures, Thanh.Do.Vu@ifremer.fr - Peter.Davies@ifremer.fr

<sup>2</sup> Ecole Centrale Paris / CNRS UMR8579, LMSSMat,damien.durville@ecp.fr

**Résumé** — Afin de comprendre l'endommagement de câbles synthétiques tressés lors de leurs passages répétés sur une poulie, un modèle de simulation par éléments finis, utilisant un solveur implicite, est proposé pour aborder ce type de structure à l'échelle des brins élémentaires. Ce modèle est utilisé pour déterminer la configuration initiale de la tresse et simuler son passage sur une poulie. Des résultats de simulations sont comparés à des essais expérimentaux.

**Mots clés** — câble tressé, structure textile, contact-frottement, endommagement

### 1 Introduction

Les câbles tressés synthétiques utilisés pour la manutention en exploitation pétrolière offshore en eau profonde voient leur durée de vie limitée par les endommagements subis lors de leurs passages sur les poulies des treuils. Ces câbles synthétiques sont réalisés par tressage de multi-torons, eux-mêmes constitués par un torsadage de quelques brins, ces brins se présentant comme des assemblages de plusieurs milliers de filaments. Afin de quantifier les interactions de contact-frottement probablement à l'origine des détériorations subies sur la poulie, on propose une méthode de modélisation de ces structures à l'échelle de leurs brins élémentaires, en s'attachant à la prise en compte des interactions de contact-frottement entre brins, et entre les brins et la poulie.

Différentes approches de la géométrie des tresses sont proposées dans la littérature, par exemple en simulant le procédé de tressage à l'aide d'un code de dynamique explicite [1], ou en ayant recours à la méthode des digital elements [2]. Une approche alternative, s'appuyant sur un solveur implicite, déjà utilisée pour des matériaux textiles [3, 4], est adaptée ici au cas des tresses afin de déterminer leur configuration initiale inconnue, de simuler leur passage sur des poulies, et de quantifier les interactions de contact-frottement afin d'identifier les origines des endommagements subis sur ces poulies.

### 2 Description du modèle

Le problème global est posé sous la forme de la résolution de l'équilibre mécanique d'une assemblée de fibres en interaction de contact-frottement, soumises à de grands déplacements, et dans un cadre quasi-statique [4]. Une méthode de résolution implicite est utilisée.

Chacune des fibres est représentée à l'aide d'un modèle de poutre à cinématique enrichie dont la section transverse est décrite par les trois vecteurs suivants : un vecteur de position du centre ( $x_0$ ) et deux vecteurs directeurs de section ( $g_1$  et  $g_2$ ), (Fig. 1). Les vecteurs de directeurs permettent de prendre en compte déformations de section transverse de la section. L'expression de la position d'une particule s'écrit à l'aide de ces trois vecteurs :

$$\mathbf{x}(\xi) = x_0(\xi_3) + \xi_1 g_1(\xi_3) + \xi_2 g_2(\xi_3) \quad (1)$$

Des éléments de contact sont générés entre les fibres, et entre les fibres et la poulie considérée comme un obstacle rigide. Un grand nombre d'éléments de contact, pouvant apparaître ou disparaître au cours de l'évolution du chargement, sont disposés au sein de la structure fibreuse. La méthode de construction de ces éléments de contact repose sur la détermination de géométries intermédiaires dans toute zone où deux portions de fibres se trouvent proches l'une de l'autre [3, 4].

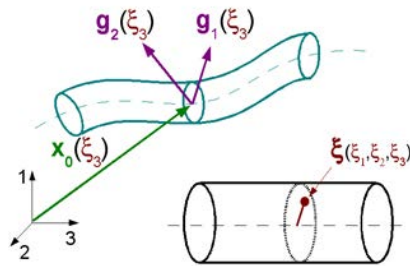


Fig. 1 – Description d’une poutre enrichie

Pour appliquer des conditions aux limites, des corps rigides sont créés aux extrémités des constituants correspondant aux différents niveaux hiérarchiques de la tresse (couches et torons). Des modes de liaisons rigides ou moyenne dans les différentes directions permettent un pilotage adapté de ces conditions aux limites.

### 3 Détermination de la configuration initiale de la tresse et validation en traction

#### 3.1 Description du câble

Le câble étudié est une structure multi-échelle. Il se compose de deux couches de 6 torons en HMPE (high-modulus polyethylene). Les deux couches s’orientent dans deux sens opposés et s’entrecroisent. Chaque toron à son tour est constitué d’une dizaine de brins par torsade. La structure du câble stressé est caractérisé à la fois par la longueur du pas périodique et par le motif de tissage. Ce dernier définit l’ordre de superposition entre les torons de deux couches.



Fig. 2 – Câble réel (2 couches, chacune de 6 torons x 7 brins)

#### 3.2 Détermination de la configuration initiale

Dans la simulation, chaque brin constituant les torons est considéré comme une poutre, avec un comportement élastique linéaire. Les rigidité de flexion et de torsion du brin sont diminuées pour tenir compte de la flexibilité importante induite le fait qu’ils sont constitués de filaments pouvant glisser les uns par rapport aux autres. La trajectoire de chaque brin est a priori inconnue, on part d’une configuration arbitraire dans laquelle les brins sont décrits par des hélices définies par leur rayon d’hélice, leur angle initial, leur pas et leur sens d’orientation.

Pour tenir compte de conditions périodiques, la longueur de câble modélisé correspond à un multiple du pas d’hélice et la relation entre les deux corps rigide sont établis. Des conditions aux limites périodiques sont formulées pour rendre identiques les déplacements dans les directions transverses des extrémités des torons et des brins, ainsi que leurs rotations.

La phase de détermination de la configuration initiale consiste à laisser les interactions de contact venir séparer les brins initialement interpénétrés, jusqu’à l’obtention d’une structure équilibrée respectant le motif de tressage. Durant cette phase, l’orientation de la direction normale de contact entre brins appartenant à des torons différents est fixée en fonction de l’ordre de superposition correspondant au motif de tressage choisi. Afin de limiter de trop grandes perturbations qui viendraient empêcher la convergence des algorithmes de contact, les pénétrations très importantes dans la configuration initiale sont réduites

progressivement d'une certaine valeur à chaque étape, jusqu'à séparation complète des torons (Fig. 3). À partir de cette étape, les algorithmes standards de contact sont appliqués.

### 3.3 Simulation d'un essai de traction

Après avoir obtenu la configuration initiale, la tresse est chargée pour reproduire son comportement pendant un essai de traction. Tout en conservant des conditions périodiques dans les directions transverses, un déplacement longitudinal est appliqué à une extrémité de la tresse tandis que l'autre est bloquée longitudinalement. Le résultat est présenté sous forme d'une courbe force-déformation. En parallèle de la simulation, les tests expérimentaux de traction sont réalisés à deux échelles, brins et câble. Le résultat des tests de traction sur les brins est utilisé comme données d'entrée pour la simulation. Après 10 cycle de chargement, le comportement du brin est considéré comme linéaire (Fig. 4). La test sur le câble est confronté au modèle (Fig. 5). La figure 5 et le tableau 1 indiquent la bonne corrélation entre le modèle éléments finis et les résultats expérimentaux. Cette validation en traction est un préalable nécessaire avant la simulation d'autres types de chargement.

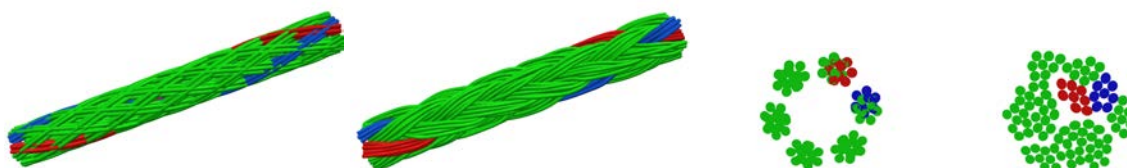


Fig. 3 – Détermination de la configuration initiale de la tresse

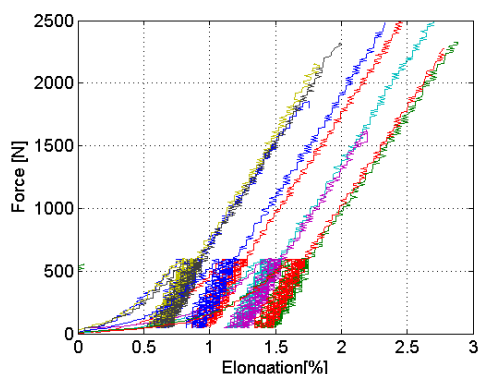


Fig. 4 – Essai sur brin

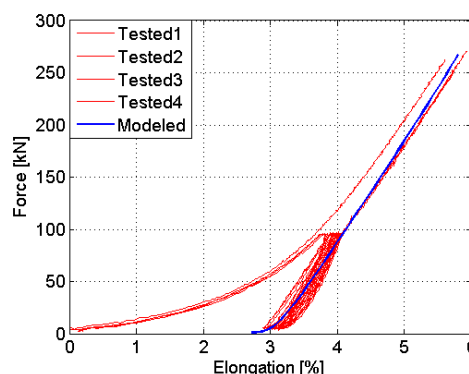


Fig. 5 – Essai sur câble et validation du modèle

	Pas (cm)	Diamètre (cm)	EA (kN)
Test	13.2	≈ 2.0	9550
Modèle	13.2	≈ 2.0	9780

Tableau 1 – Comparaison entre test et modèle

## 4 Simulation du passage sur une poulie

La détermination de la configuration initiale permet ensuite de simuler l'enroulement et le passage de la tresse sur une poulie considérée comme corps rigide (Fig. 6). La quantification des énergies dissipées par frottement entre les brins de la tresse, et entre ces brins et la poulie, doit aider à comprendre l'origine des endommagements subis par la tresse.

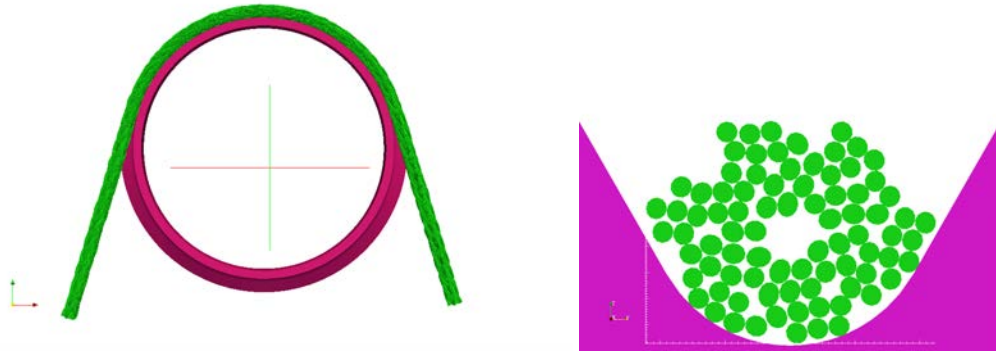


Fig. 6 – Vue selon deux plans de coupe de la tresse lors de son enroulement sur la poulie (84 fibres)

#### 4.1 Processus de calcul

Les différents composants de la structure sont :

- Le câble dont la longueur doit être suffisamment grande afin d’assumer le déplacement de deux bouts du câble et d’éviter l’influence du mouvement de torons aux extrémités
- La poulie dont les dimensions sont inspirées de la poulie réelle. La poulie est considérée comme un obstacle rigide
- Les vérins hydrauliques de l’essai sont remplacés par des conditions aux limites.

En vue de réduire le temps de calcul et de faciliter l’étude paramétrique, la simulation n’est plus fait à l’échelle des brins, mais à l’échelle des torons, chaque toron étant représenté par un modèle de poutre. Nous présentons ici le cas d’un câble de 12 torons de longueur de 158,4 cm (12 fois le pas périodique). Les matériaux sont considérés comme élastique. Au début, le câble et la poulie apparaissent séparément. Afin de mettre le câble en position sur la poulie, une série d’étapes est effectuée pour glisser progressivement le câble dans la gorge de la poulie. La poulie est ensuite laissée libre de tourner autour de son axe et les deux extrémités du câble sont pilotées par des conditions aux limites afin de les mettre en tension.

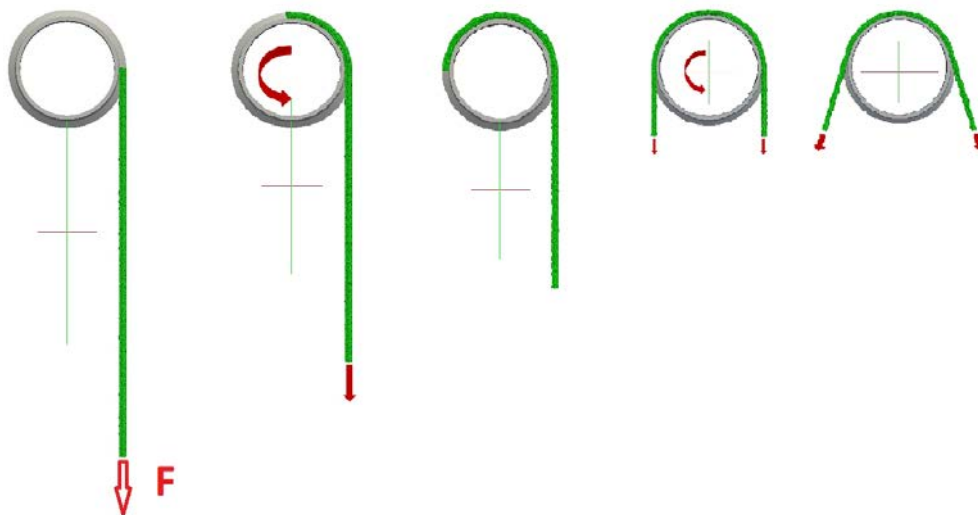


Fig. 7 – Processus de mise en place de la tresse sur la poulie)

Une fois le câble mis en place, les chargements peuvent être appliqués de manière à simuler le passage du câble sur la poulie. Durant cette phase, la poulie tourne librement autour de son axe et la force ainsi que le déplacement sont appliqués alternativement aux deux corps rigides aux extrémités de la tresse pour simuler des cycles de flexion alternée sur la poulie. (Fig. 8).

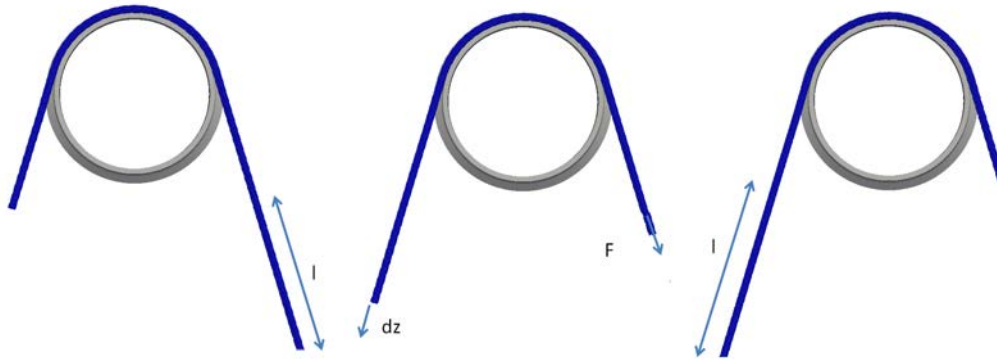


Fig. 8 – Model de passage du câble sur la poulie sous charge cyclique F avec  $l=40$  cm et  $dz=2$  cm

## 4.2 Analyse des résultats

**Analyse de l'énergie dissipée par frottement :** Les essais de flexion alternée mettent en évidence une diminution de la rigidité axiale de la tresse avec les cycles qui semble être liée à un endommagement par abrasion. Dans une première approche, on peut exprimer le volume de matière retiré par abrasion, noté  $V_a$ , à l'effort normal  $R_n$  et au glissement  $s$  selon le modèle simplifié  $v_a = k_a R_n s$ , où  $k_a$  est le coefficient d'abrasion. L'énergie dissipée par frottement, calculée comme  $E_d = \mu R_n s$ , où  $\mu$  est le coefficient de frottement, peut être estimée par la simulation, mais aussi à partir des résultats d'essais en effectuant un bilan du travail fourni par les vérins actionneurs au cours de chaque cycle. L'analyse de l'énergie dissipée par frottement fournit de premiers éléments de compréhension du mécanisme d'endommagement du câble.

Dans la simulation, nous pouvons déterminer la force tangentielle et le déplacement irréversible à chaque point de contact et à chaque étape de chargement, et ensuite en déduire l'énergie dissipée par frottement. La visualisation de cette quantité permet de localiser la répartition de l'énergie dissipée le long de la tresse. La figure (9) à gauche, montre l'énergie dissipée sur une étape de chargement. Les zones les plus affectées sont situées à l'entrée et à la sortie du câble par rapport à la poulie. Ces lieux correspondent à des changements importants de la courbure de la tresse, ce qui entraînent des glissements importants entre les torons. Si on effectue la somme des dissipations d'énergie sur un cycle entier (Fig. 9 à droite), la zone correspondant au maximum d'énergie dissipée se situe au centre de la portion de tresse passant sur la poulie, cette zone étant fléchie à la fois à l'entrée et à la sortie de la poulie.

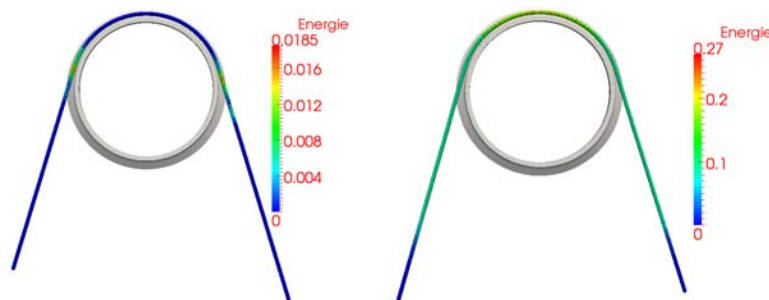


Fig. 9 – La répartition de l'énergie dissipée entre les fibres le long de la tresse, par un étape (à gauche) et par un cycle (à droite), en Nm

L'énergie dissipée par frottement peut être décomposée en une part interne provenant des glissements entre torons, et une part externe provenant des glissements des torons sur la poulie. Les résultats de simulation montrent que la participation du frottement interne à l'énergie dissipée est beaucoup plus importante que celle de frottement externe. Dans le cas étudié ( $F=40$  kN,  $\mu_{interne}=0.03$  et  $\mu_{externe}=0.1$ ), les énergies dissipées interne et externe sont respectivement de 127 Nm et de 19 Nm par cycle.

**Influence de coefficient de frottement :** L'énergie dissipée par frottement dépend des coefficients de frottement interne et externe, comme illustré dans les tableaux 2 et 3. La comparaison des estimations des énergies dissipées à partir des simulations et à partir des essais devrait fournir un moyen de recalibrer la valeur du coefficient de frottement entre torons.

$\mu_{interne}$	0,03	0,06
$E_d$ interne [Nm]	127	205

Tableau 2 – Énergie dissipée interne en fonction de coefficient de frottement interne avec  $\mu_{externe} = 0,1$  et  $F = 40\text{kN}$ , par un cycle

$\mu_{externe}$	0,06	0,1	0,3
$E_d$ totale [Nm]	144	146	158

Tableau 3 – Énergie dissipée en fonction de coefficient de frottement externe avec  $\mu_{interne} = 0,03$  et  $F = 40\text{ kN}$ , par un cycle

**Influence de chargement :** L'énergie dissipée par cycle dépend de la force appliquée (Fig. 10). Ceci s'explique par le fait que les réactions normales entre torons dépendent fortement de la tension de la tresse.

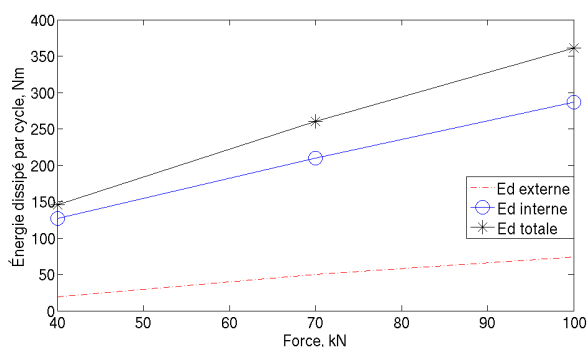


Fig. 10 – Énergie dissipée en fonction de chargement, en Nm

**Influence de dimension de la poulie :** Plusieurs essais ont montré l'influence du diamètre de la poulie sur la durée de vie des câbles. Cette tendance se retrouve également dans les résultats de simulation. Plus le rayon de la poulie est petit, plus le changement de rayon de courbure de la tresse à l'entrée est grand. L'augmentation de l'énergie dissipée avec la diminution du rayon de la poulie semble liée à cette augmentation de courbure (Fig. 11).

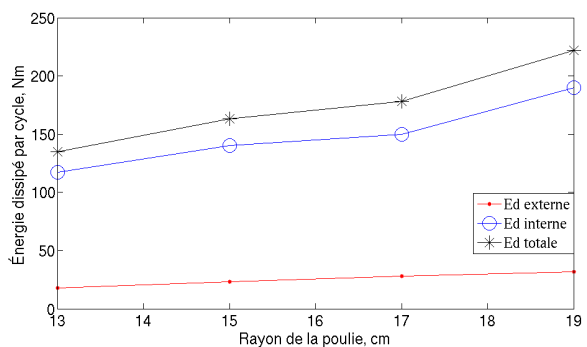


Fig. 11 – Énergie dissipée en fonction de rayon de la poulie

## 5 Conclusion

Dans cette étude, la méthode de la simulation de câble a été développée et comparée aux résultats du test expérimental. A travers des analyses, la relation entre énergie dissipé par frottement et abrasion s'éclaircit partiellement. Les différents facteurs qui affectent l'endommagement du câble sont étudiés.

### Références

- [1] A. Pickett, J. Sirtautas and A. Erber, Braiding Simulation and Prediction of Mechanical Properties, *Applied Composite Materials*, Vol. 16, no. 6, pp. 345-364, 2009.
- [2] Y. Miao, E. Zhou, Y. Wang and B. Cheeseman, Mechanics of textile composites : Micro-geometry, *Composites Science and Technology*, 68 :1671-1678, 2008.
- [3] D. Durville, Microscopic approaches for understanding the mechanical behaviour of reinforcements in composites, in : P. Boisse, ed., *Composite reinforcements for optimum performance*, Woodhead Publishing Limited, pp. 461-485, 2011.
- [4] D. Durville, Contact-friction modeling within elastic beam assemblies : an application to knot tightening, *Computational Mechanics*, Vol. 49, no. 6, pp. 687-707, 2012.