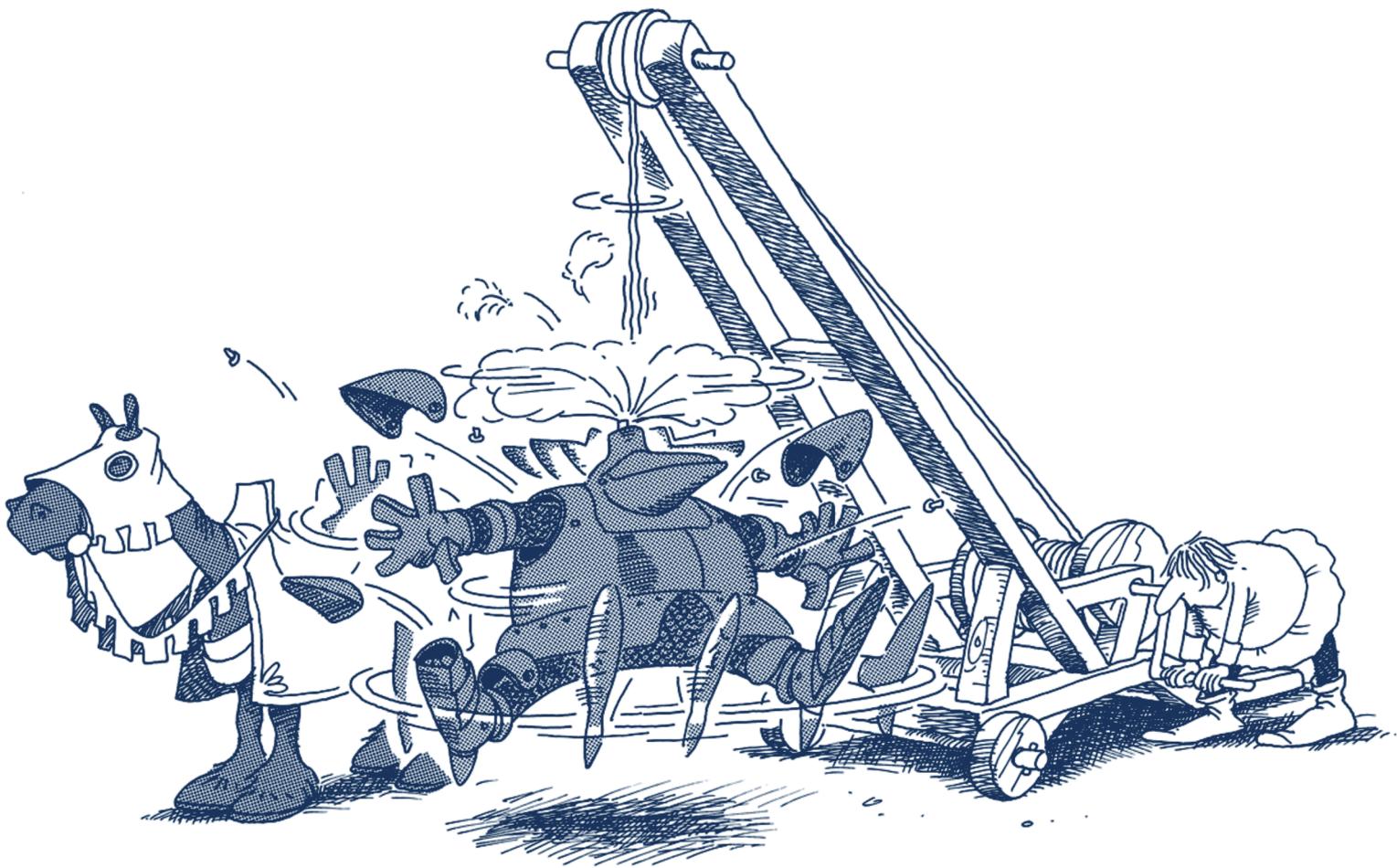


WIRE ROPE

TECHNOLOGY AACHEN



**Les caractéristiques de rotation
des câbles métalliques**

Les caractéristiques de rotation des câbles métalliques

par Dipl.-Ing. Roland Verreet et Jean-Marc Teissier

Table des matières

1. Introduction	4
2. Le moment des câbles non antigiratoires.....	7
3. La rotation des câbles non antigiratoires	11
4. Pourquoi les câbles antigiratoires ne tournent-ils pas [...]?.....	13
5. Le moment des câbles semi-antigiratoires et antigiratoires	15
6. La rotation des câbles semi-antigiratoires	16
7. La rotation des câbles antigiratoires.....	18
8. Entracte: Comment est-il possible de produire des câbles [...]?	19
9. La stabilité des moufles de grues.....	21
10. La stabilité d'un système à deux câbles.....	27
11. Systèmes à deux câbles: Un câble droit et un câble gauche [...]?	28
12. L'évolution des moments des câbles induite par une rotation forcée	31
13. La rotation forcée des câbles sur les poulies	34
14. La rotation forcée lors de l'enroulement sur un tambour.....	38
15. La torsion des câbles pendant l'installation.....	42
16. Pourquoi les câbles non antigiratoires ne doivent-ils pas être utilisés [...]?	44
17. Pourquoi les câbles semi-antigiratoires de type [...]?	44
18. Torsion introduite dans le système de levage par la présence [...].....	45
19. Pourquoi les câbles antigiratoires peuvent-ils être équipés d'un émerillon?.....	48
20. Pourquoi les câbles antigiratoires devraient-ils être équipés d'un émerillon? ..	48
21. Que faire si, malgré l'utilisation d'un émerillon, de la torsion s'est [...]?	49
22. Comment attacher les câbles de bennes preneuses.....	51
23. Premiers soins.....	56
24. Remarques	57

© 1984, 1990, 1996, 2003, 2013, 2020 Ingenieurbüro für Drahtseiltechnik Wire Rope Technology Aachen GmbH

Titre et dessins animés: Rolf Bunse

Composition, mise en page et design: Benedikt Dolzer, Aachen

Réimpression, même partielle, uniquement avec l'autorisation des auteurs.

1. Introduction

Afin de déterminer pourquoi un câble a tendance à tourner sous l'action de sa charge, nous allons analyser un ensemble de six torons parallèles agencés autour d'une âme en fibre (Fig. 1).

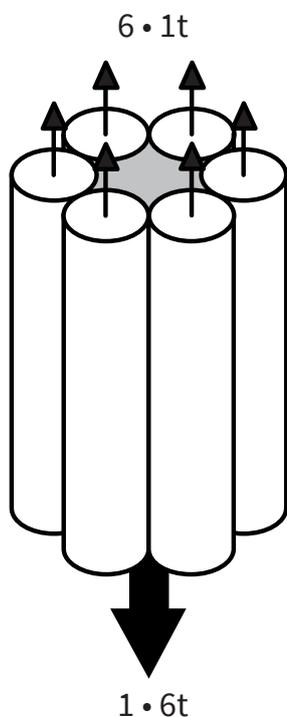


Fig. 1: Ensemble de six torons parallèles.

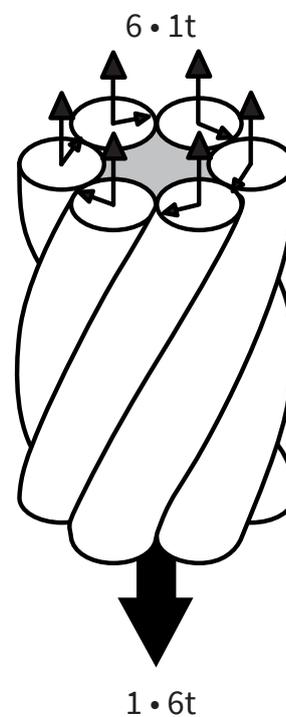


Fig. 2: Câble avec arrangement hélicoïdal des torons.

Par exemple, lors du levage d'une charge de six tonnes par un câble de ce type, chaque toron supportera une charge d'une tonne, l'âme en fibre étant virtuellement sans charge.

Lors du passage sur une poulie, le câble est fléchi autour de sa fibre neutre - son axe. Les torons externes sont allongés, et par conséquent surchargés, alors que les torons internes sont raccourcis et donc partiellement, voire totalement, déchargés (Fig. 3).

Durant cet événement, d'énormes forces de traction et de formidables variations de charge interviennent entre les torons. Ceci conduira à une rapide détérioration du câble. Nous allons maintenant examiner le cas d'un câble avec six torons externes enroulés hélicoïdalement autour d'une âme en fibre (Fig. 2).

Quand ce câble est enroulé autour d'une poulie, chaque toron, sur sa longueur, se retrouve alternativement sur l'extérieur de la zone fléchie, où il est allongé, et sur l'intérieur, où il est raccourci.

A l'intérieur d'un même toron, la flexion génère par conséquent: sur une zone un allongement (donc une force de traction), et quelques millimètres plus loin, sur une autre zone, un raccourcissement (donc une force de compression) (Fig. 4). Les variations de longueurs et d'efforts génèrent un léger glissement du toron, d'une zone de compression (là où il y a trop de matière) vers une zone d'allongement (là où il manque de la matière). Ce glissement permet de réduire les sollicitations au sein du câble.

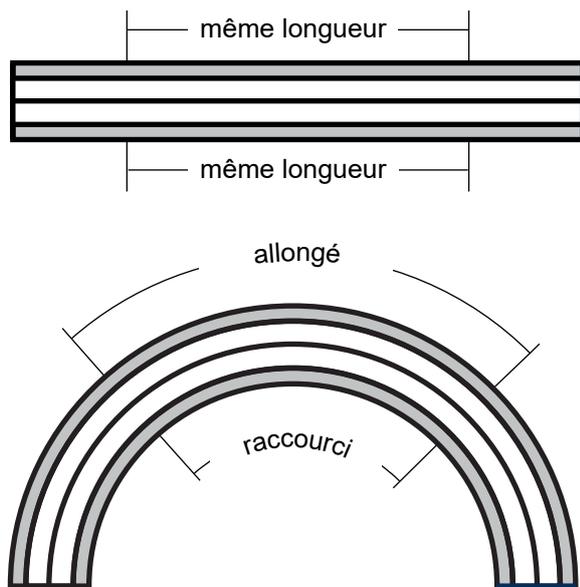


Fig. 3: Changement de longueur des torons lors de la flexion.

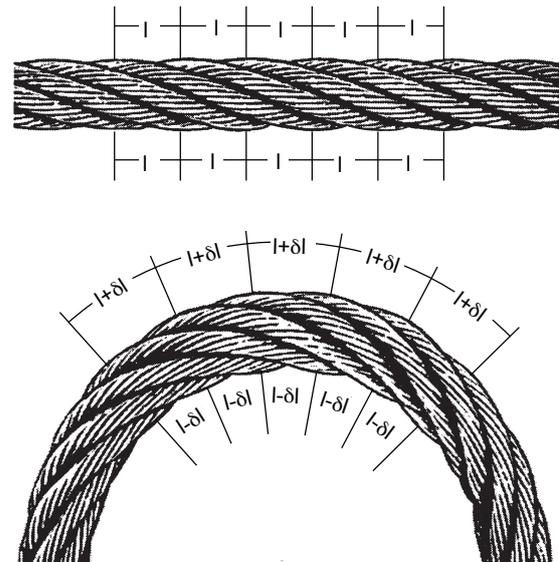


Fig. 4: Répartition des zones de traction et de compression le long des torons.

Ainsi, lors d'un enroulement sur une même poulie, un câble avec un arrangement des torons en hélice subira de plus faibles contraintes de flexion qu'un câble avec des torons parallèles. C'est pour cette raison qu'un câble toronné, passant sur des poulies, aura une beaucoup plus grande durée de vie qu'un câble constitué par un ensemble de torons parallèles.

Cependant, cette amélioration du comportement en flexion se paie cher. En effet, pour lever une charge de 6 tonnes avec un câble toronné (Fig. 2), on génère dans chaque toron une force F_a qui, du fait de l'inclinaison du toron par rapport à l'axe du câble, sera approximativement de 1,06 tonnes (Fig. 5).

Il apparaît donc que, pour un même chargement, les contraintes générées dans chaque toron d'un câble avec arrangement des torons en hélices, seront approximativement 6% supérieures à celles générées dans un câble constitué par un ensemble de torons parallèles.

Un élément encore plus important est la création d'une composante tangentielle F_c . Sous l'impulsion du bras de levier R , distance au centre du câble, cette force crée un moment qui a tendance à faire tourner le câble autour de son axe (Fig. 6).

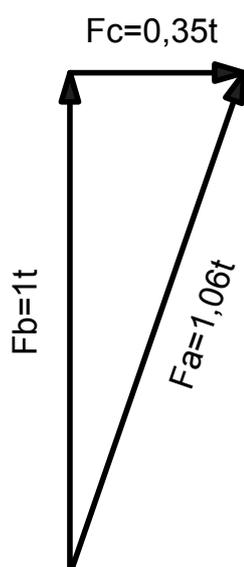


Fig. 5: Composantes des forces agissant sur le toron.

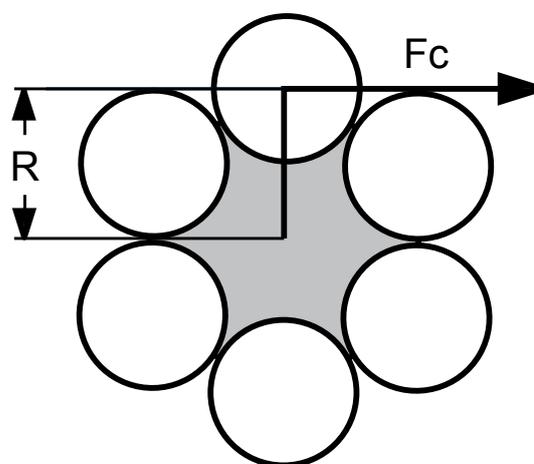


Fig. 6: Le moment du câble.

Cette brochure propose une analyse des problèmes résultant de ce phénomène. Les termes spécifiques relatifs aux câbles, utilisés dans ce document sont explicités en annexe A. La définition du caractère antigiratoire d'un câble est cependant spécifiée ci-après.

Câble non antigiratoire:

Lors de son chargement, ce câble génère un moment et une rotation extrêmement importants. Normalement les câbles non antigiratoires sont construits avec de 6 à 8 torons externes agencés sur une âme en fibre ou sur une âme acier qui est alors câblée dans le même sens que celui du câblage des torons externes. Les câbles typiquement non antigiratoires sont; les câbles 6x19, 6x25, 6x36, 8x19, 8x25, 8x36 avec âme fibre ou métallique ou métallique plastifiée, ainsi que leurs versions compactées.

Câble semi-antigiratoire:

Lors de son chargement, ce câble génère un moment et une rotation réduits. Normalement les câbles semi-antigiratoires sont construits avec 3 ou 4 torons externes sans âme métallique, ou bien avec de 8 à 13 torons externes agencés sur une âme acier plastifiée ou non qui est câblée en sens opposé à celui du câblage des torons externes. Les câbles typiquement semi-antigiratoires sont les câbles 17x7, 18x7, 19x7, 17x19, 18x19, 19x19, ainsi que leurs versions compactées.

Câble antigiratoire:

Lors de son chargement, ce câble génère un moment et une rotation très faibles, voire inexistantes. Normalement les câbles antigiratoires sont construits avec de 14 à 20 torons externes, agencés sur une âme acier plastifiée ou non qui est câblée en sens opposé à celui du câblage des torons externes. La plupart des câbles antigiratoires ont 16 torons externes.

2. Le moment des câbles non antigiratoires

Le total des actions des composantes tangentielles F_c sur chaque toron, et de leurs bras de levier R , constitue le moment du câble. Pour un câble de six torons selon Fig. 6, le moment se calcule de la façon suivante:

$$M = 6 \cdot F_c \cdot R$$

Pour les câbles à multiples couches de torons, le calcul du moment ne peut pas être réalisé avec suffisamment de précision. Notre connaissance de la répartition de la charge sur les torons n'est en effet pas suffisante. De plus elle évolue avec l'intensité du chargement. Par conséquent, ces moments doivent être déterminés par l'expérimentation. Ces essais sont conduits de la façon suivante:

Une extrémité du câble à tester est reliée rigidement à une machine de traction. L'autre extrémité est attachée à une unité de mesure qui est capable d'enregistrer le moment en fonction de la charge. Pendant toute la durée de l'essai, les données relatives à la charge, au moment, à l'allongement du câble, et les autres valeurs significatives, telles que le diamètre du câble ou la contrainte dans certains fils, sont enregistrées puis chargées dans un ordinateur. Certaines sont imprimées pendant l'essai.

De plus, l'unité de mesure permet d'introduire une torsion prédéfinie dans le câble avant le début de l'essai. Il sera ainsi possible de déterminer les courbes relatives à plusieurs niveaux de sollicitation en torsion.

Les facteurs ayant le plus d'influence sur le moment d'un câble sont illustrés par les deux exemples suivants:

2.1. Exemple 1:

Deux câbles de diamètres respectifs 10 mm et 20 mm, sont tous les deux tendus avec des charges identiques. Lequel de ces deux câbles va développer le plus grand moment?

Au premier abord on pourrait penser que le câble de 20 mm montrerait un plus petit moment. En effet, il a une charge de rupture approximativement quatre fois plus importante que le petit câble, et sa contrainte est donc considérablement inférieure.

En réalité, c'est pourtant le plus gros câble qui exercera un moment exactement deux fois plus important que celui du câble plus petit. L'explication est assez simple.

De par leur construction identique, avec le même angle de câblage, le chargement crée pour les deux câbles le même effort tangentiel F_c . Pour le câble de 20 mm, l'effort F_c a un bras de levier d'une longueur double (Fig. 7).

***Même effort • bras de levier double
= moment double.***

On en déduit la règle suivante:

Pour des câbles non antigiratoires de composition identique, le moment du câble augmente proportionnellement à son diamètre.

En pratique cela signifie que:

***Plus le diamètre du câble est petit,
plus le câble sera résistant à la rotation.***

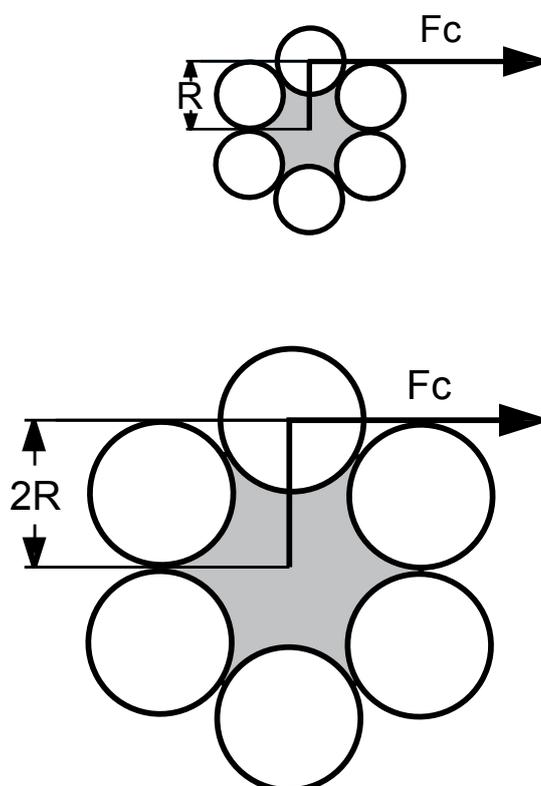


Fig. 7: L'influence de la charge sur le moment du câble

Ces exemples simples montrent que le moment d'un câble est proportionnel au diamètre du câble, et à la charge appliquée.

2.2. Exemple 2:

Deux câbles de même diamètre sont respectivement chargés avec une charge de une tonne et avec une charge de deux tonnes. Comment ces deux charges vont-elles influencer le moment de ces câbles ?

Une charge extérieure double crée un effort tangentiel F_c dans le second câble qui sera exactement deux fois plus important que celle créé dans le premier câble (Fig. 8). Avec des bras de levier identiques, le moment du câble avec la force doublée sera exactement deux fois plus grand.

On peut donc en déduire la règle suivante:

Le moment d'un câble non antigiratoire augmente proportionnellement à la charge qui lui est appliquée.

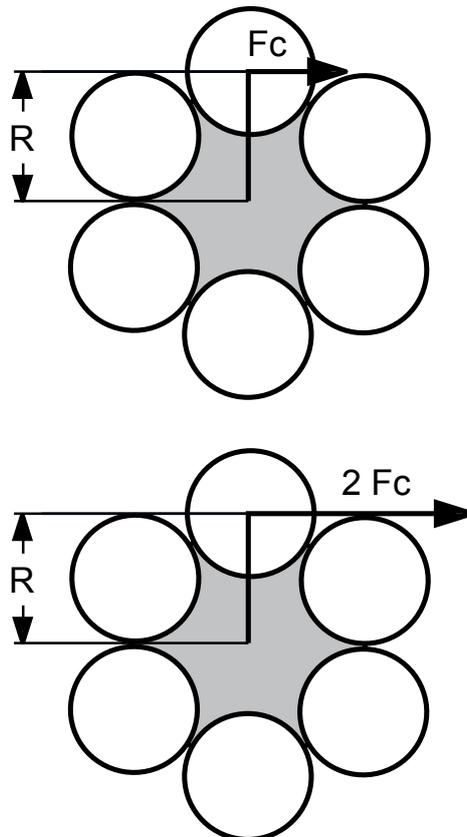


Fig. 8: L'influence de la charge sur le moment du câble

Ces exemples simples montrent que le moment d'un câble est proportionnel au diamètre du câble, et à la charge appliquée.

Le moment est proportionnel au produit charge • diamètre.

De plus, le moment d'un câble dépend de sa construction, c'est-à-dire du nombre de torons et de leur agencement; pas de câblage et type de câblage (croisé ou Lang). Par exemple, dans un câble à une seule couche de torons, plus l'angle de câblage a augmenté, c'est-à-dire plus le pas de câblage diminue, plus l'effort

$$F_c = F_a \cdot \sin \alpha$$

croît. L'influence de ces paramètres peut être résumée par un facteur que nous appellerons facteur de couple k. Ce facteur k est une caractéristique d'un type de câble.

$$\text{Moment du câble} = k \cdot \text{charge} \cdot \text{diamètre nom. du câble}$$

Fig. 9 montre le facteur k pour différents types de câbles. Des câbles insuffisamment préformés en phase de fabrication peuvent montrer une tendance à se détoronner même s'ils ne sont soumis à aucune charge. Ce phénomène est toujours beaucoup plus marqué pour les câbles Lang. Ceci pourrait laisser croire que, sous charge, les câbles Lang développeront également un couple de giration plus élevé que les câbles croisés. Ceci n'est pas toujours vrai.

Pour beaucoup de câbles spéciaux, le moment d'un câble Lang est plus petit que celui d'un câble de même construction mais à câblage croisé.

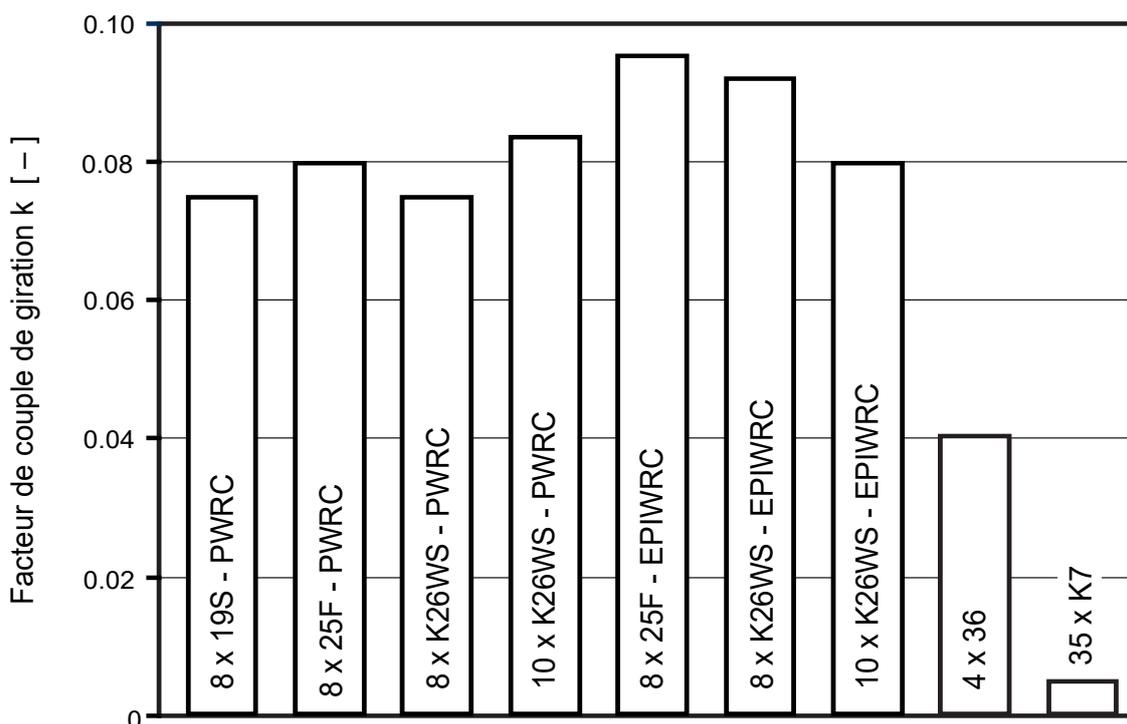


Fig. 9: Facteur de couple k pour différents types de câbles

3. La rotation des câbles non antigiratoires

Sous charge, un câble non antigiratoire aura toujours tendance à réduire ses moments internes en allongeant son pas de câblage, c'est-à-dire en se détordant. Un essai de traction durant lequel une extrémité du câble est libre en rotation permettra de déterminer exactement à quel angle de rotation les moments générés par la charge deviennent nuls. Le banc d'essais Twist/Torque de DEP engineering permet de faire cette mesure. Durant l'essai d'autres données importantes telles allongement, valeur des rotations, sont mesurées en continu puis chargées dans un ordinateur. Pendant ou après l'essai, la courbe des angles de rotation peut être tracée en fonction soit de la charge, soit de l'allongement.

Fig. 10 montre l'angle de rotation par unité de longueur pour des câbles de composition différente, ayant une extrémité libre en rotation (attachée par l'intermédiaire d'un émerillon tournant).

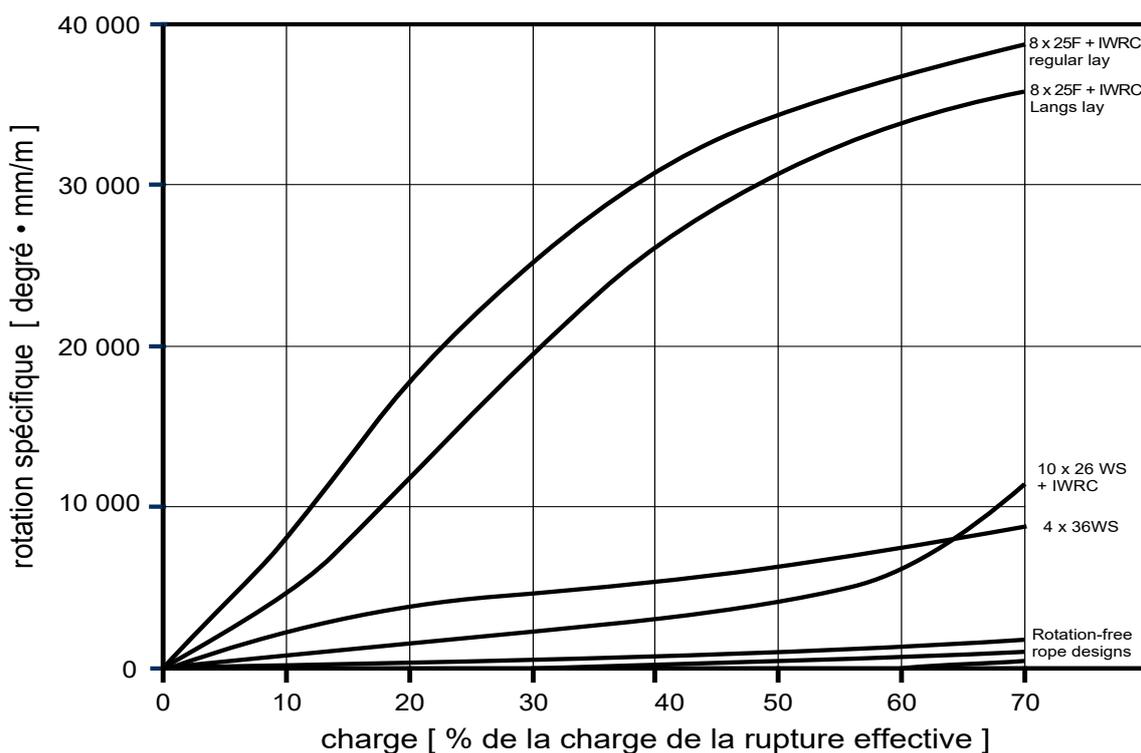


Fig. 10: Angle de rotation sous charge pour différentes compositions de câbles

Afin de rendre les résultats comparables pour différents diamètres de câble, le graphique représente l'angle de rotation par unité de longueur multiplié par le diamètre du câble.

Si des câbles non antigiratoire ont une extrémité libre en rotation lors d'un essai de traction (fixation par un émerillon tournant), ils se rompent sous une charge inférieure à leur charge minimum de rupture.

Par exemple un câble 8 torons double parallèle, en câblage croisé cédera à environ 75% de sa charge minimum de rupture, alors que le même câble Lang se rompra à seulement 40% de cette charge.

Ceci est une des raisons pour lesquelles les câbles non antigiratoires ne doivent pas être fixés par des émerillons tournants. Le coefficient de sécurité réel de l'installation est dangereusement réduit par l'utilisation d'un émerillon tournant avec des câbles non antigiratoires.

De plus, ces câbles tourneraient continuellement lors des changements de charge: dans le sens ouverture lors du chargement, puis dans le sens fermeture lors du déchargement. Ils seraient inévitablement sujets à d'extrêmes usures internes et à d'énormes phénomènes de fatigue en torsion. Ceci est une autre raison pour laquelle les câbles non antigiratoires ne devraient jamais être utilisés avec des émerillons tournants.

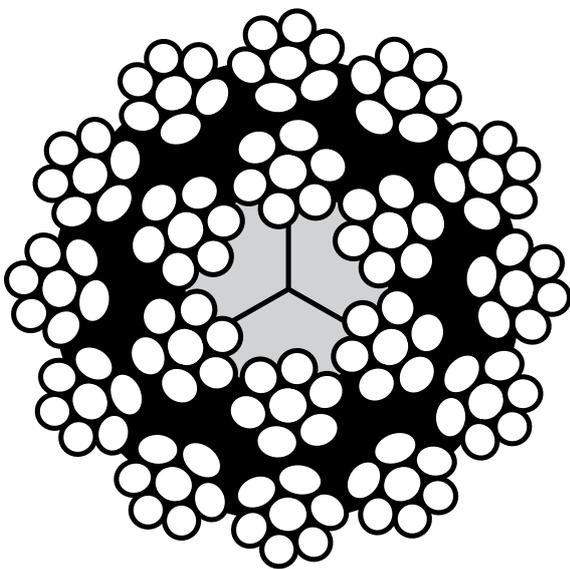


Fig. 11: 18x7 wire rope

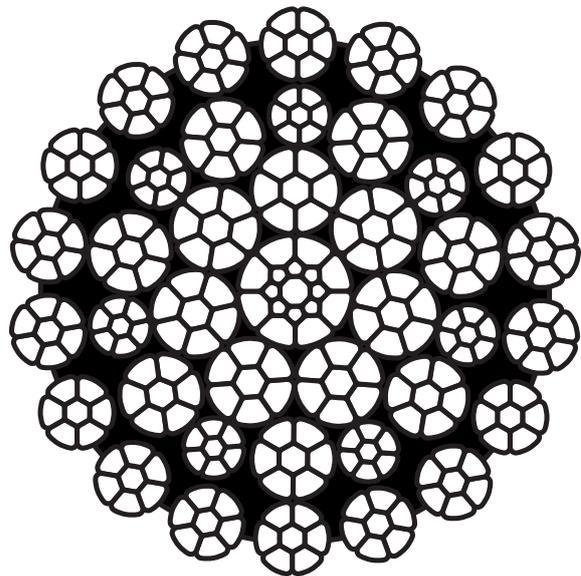


Fig. 12: 40 x K7 wire rope

4. Pourquoi les câbles antigiratoires ne tournent-ils pas sous l'action d'une charge ?

Le principe fondamental régissant la conception des câbles antigiratoires est le suivant: une âme métallique indépendante, câblée dans un sens, est recouverte avec une couche externe de torons câblés dans le sens opposé. Le moment de la couche externe de torons est de signe opposé à celui de l'âme métallique, et, dans une configuration idéale, ces moments se compensent totalement.

Fig. 11 montre une coupe d'un câble 18x7. Dans ce câble, une charge externe génère un effort tangentiel dans chacun des six torons de l'âme métallique qui, sous l'action d'un bras de levier R , a tendance à faire tourner le câble dans une direction.

Les forces tangentielles créées dans les douze torons externes agissent dans l'autre direction avec un bras de levier plus important. Pour ce type de câble le bras de levier est $2 \cdot R$.

Si nous admettons que les torons sont uniformément chargés (et ils devraient l'être !), alors la répartition des moments générés par la composante tangentielle de l'effort, respectivement dans l'âme métallique et dans les torons externes, s'exprime de la façon suivante:

***moment de l'âme métallique
: moment des torons externes***

$$6 \cdot Fc \cdot R : 12 \cdot Fc \cdot 2R$$

Le ratio des moments est donc égal à:

$$6 : 24$$

Si l'âme métallique était câblée dans la même direction que celle des torons externes, le moment du câble serait alors égal à:

$$12 \cdot Fc \cdot 2R + 6 \cdot Fc \cdot R = 30 \cdot Fc \cdot R$$

Mais étant donné que pour un câble 18x7, les deux couches sont câblées en sens opposé, les moments se soustraient. Le moment résultant est alors:

$$12 \cdot Fc \cdot 2R - 6 \cdot Fc \cdot R = 18 \cdot Fc \cdot R$$

Il apparaît clairement qu'un toronnage de l'âme métallique en direction inverse à celle des torons externes réduit le moment à 60% de ce qu'il aurait été si l'âme métallique avait été câblée dans la même direction que les torons externes.

Il est évident qu'un câble avec un tel moment résiduel sera au mieux résistant à la rotation, mais ne sera pas antigiratoire.

Le principe énoncé ci-dessus, est également applicable aux câbles 17x7 avec 11 torons externes, aux câbles 19x7 avec une âme toronnée, tout comme aux câbles 18x19, 17x19 et 19x19 pour lesquels le toron de 7 fils est remplacé par un toron Seale de 19 fils. Il est également valable pour les versions à torons compactés de chacune de ces compositions.

Selon la définition explicitée au chapitre 1, ces câbles sont semi-antigiratoires.

Fig. 12 montre la section d'un câble antigiratoire. Pour ce câble, 21 torons dans l'âme métallique génèrent un moment dans une direction, alors que seulement 18 torons sur la couche extérieure créent un moment opposé.

Pour ce type de câble, l'handicap du petit bras de levier des torons de l'âme métallique est compensé par leurs plus grands nombres et leurs plus grandes section métallique, donc par des plus grandes composantes tangentielles F_c . Avec cette conception, il est possible d'équilibrer le moment de l'âme métallique et des torons externes, pour un chargement jusqu'à 1/3 de la charge de rupture minimum du câble, ce qui correspond au coefficient de sécurité de 3 (le minimum pour un appareil de levage). (Fig.10).

5. Le moment des câbles semi-antigiratoires et antigiratoires

Comme explicité précédemment, l'équation définissant le moment d'un câble s'écrit de la façon suivante:

$$\text{Moment} = k \cdot \text{charge} \cdot \text{diamètre}.$$

La partie gauche de l'équation - le moment - sera nulle si au moins un des trois facteurs de la partie droite est nul.

Cela signifie que le moment est nul si la charge est nulle, ce qui est évident. Le moment sera également nul si le diamètre du câble est égal à zéro. Hélas, dans ce cas la charge de rupture serait également nulle, nous ne serions donc pas bien avancés.

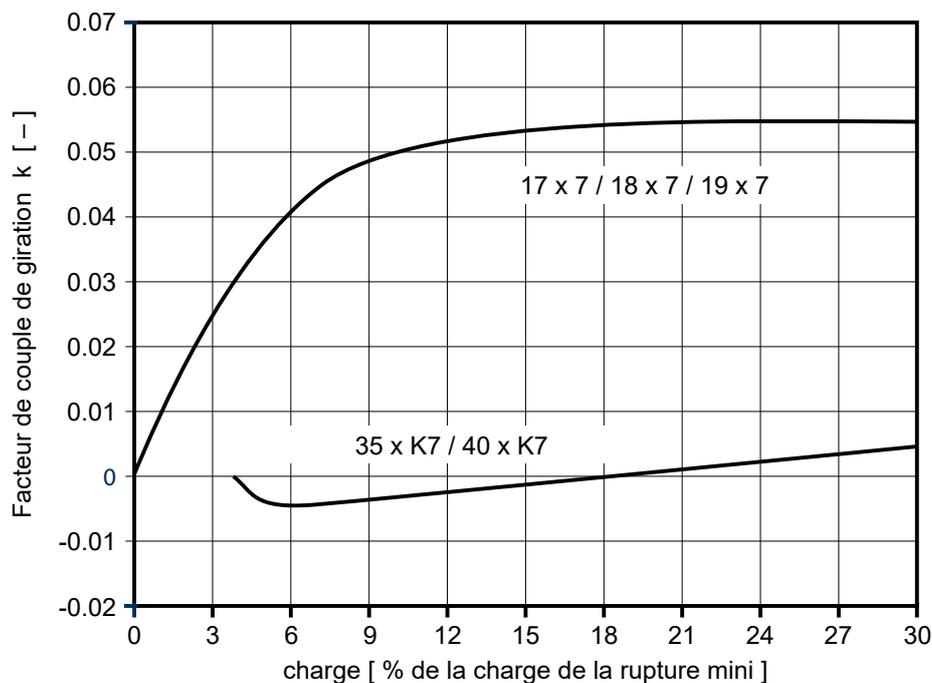


Fig. 13: Facteur de couple en fonction de la charge pour différentes compositions

Par conséquent, pour produire un câble antigiratoire, le principal objectif de l'ingénieur doit être la conception d'une géométrie sophistiquée qui réduira le facteur k à zéro.

Fig. 13 montre, en fonction de la charge, le facteur k pour différents types de câbles non antigiratoires, semi-antigiratoires et antigiratoires.

Il apparaît clairement que le facteur k d'un câble 18x7 est largement supérieur à zéro. Avec une valeur de 0,055, il correspond à 60% de la valeur de celui du câble non antigiratoire, ce qui confirme nos calculs du chapitre 4. Les valeurs k des câbles antigiratoires à environ 35 torons sont extrêmement basses. Ces valeurs varient d'un fabricant à l'autre, il est donc recommandé de les obtenir. Elles restent pratiquement idéalement nulles sur tout le spectre de chargement.

6. La rotation des câbles semi-antigiratoires

Dans un câble antigiratoire les moments générés par une charge extérieure sur l'âme métallique et sur les torons externes se compensent quasiment complètement. Sous charge, un câble antigiratoire avec une extrémité libre en rotation, ne tournera donc que très peu pour atteindre un nouvel état d'équilibre entre l'âme métallique et les torons externes.

Si par exemple le moment de la couche extérieure est prédominant, elle se détordonnera, augmentera son pas de câblage et transférera une partie de sa charge sur l'âme métallique. Pendant ce temps l'âme métallique - câblée dans le sens opposé - se serrera, réduira son pas et augmentera son chargement d'une valeur correspondant à la charge transférée par les torons extérieurs. Le déchargement partiel des torons de la couche extérieure réduira son moment. Dans le même temps, la surcharge de l'âme métallique augmentera son moment.

La rotation progressive du câble va réduire le moment de la couche extérieure tout en augmentant le moment de l'âme métallique, jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre ces deux moments.

La rotation du câble est nécessaire pour atteindre l'état d'équilibre. L'allongement de la couche externe et le raccourcissement simultané de l'âme métallique conduiront à une redistribution des efforts et des moments. Dans le nouvel état d'équilibre l'âme métallique du câble supportera une partie de la charge supérieure à celle correspondant au ratio des sections métalliques.

Par conséquent, même les câbles de compositions 17x7, 18x7, 17x19 et 18x19, qui ne sont pas antigiratoires, trouveront une position d'équilibre après une certaine rotation. Mais, comme nous venons de le voir, cet équilibre n'est possible que si l'âme métallique est extrêmement sur- chargée et si les torons externes sont par conséquent extrêmement déchargés.

Les conséquences pratiques de ce chargement disproportionnel sont très importantes.

L'âme métallique des câbles semi antigiratoires, tels que 17x7, 18x7, 17x19 et 18x19, ainsi que leurs versions compactées, étant surchargée, on y constate une très grande usure et plus de fils cassés. Les ruptures se produisent particulièrement aux endroits où les fils des torons externes croisent les torons de l'âme métallique, ajoutant ainsi une importante pression supplémentaire sur des fils de l'âme déjà surchargés. La détérioration en fatigue du câble intervient donc dans des zones non accessibles lors des contrôles visuels.

Les seuls torons qui peuvent être inspectés visuellement sont les torons extérieurs qui sont à peine chargés. Ils donneront toujours l'impression que le câble est en bon état. En conséquence, la défaillance des câbles semi-antigiratoires intervient le plus souvent avant que le nombre de fils cassés visibles correspondant au critère de dépense du câble ne soit atteint.

Un câble semi-antigiratoire, qui est libre en rotation, ne trouvera de position d'équilibre des moments que par une sur rotation de son âme métallique. Par conséquent, lors d'un essai de traction du câble avec ses extrémités libres en rotation, l'âme métallique qui est alors surchargée se rompra prématurément.

C'est pourquoi les câbles semi-antigiratoires tels que 17x7, 18x7, 19x7, ainsi que leurs versions avec des torons de 19 fils et/ou des torons compactés, ne fournissent que 70% de leur charge minimum de rupture lorsqu'ils sont attachés au travers d'un émerillon tournant. Fig. 14 montre les charges minimum de rupture de différents câbles lorsqu'ils sont éprouvés attachés par un émerillon libre en rotation.

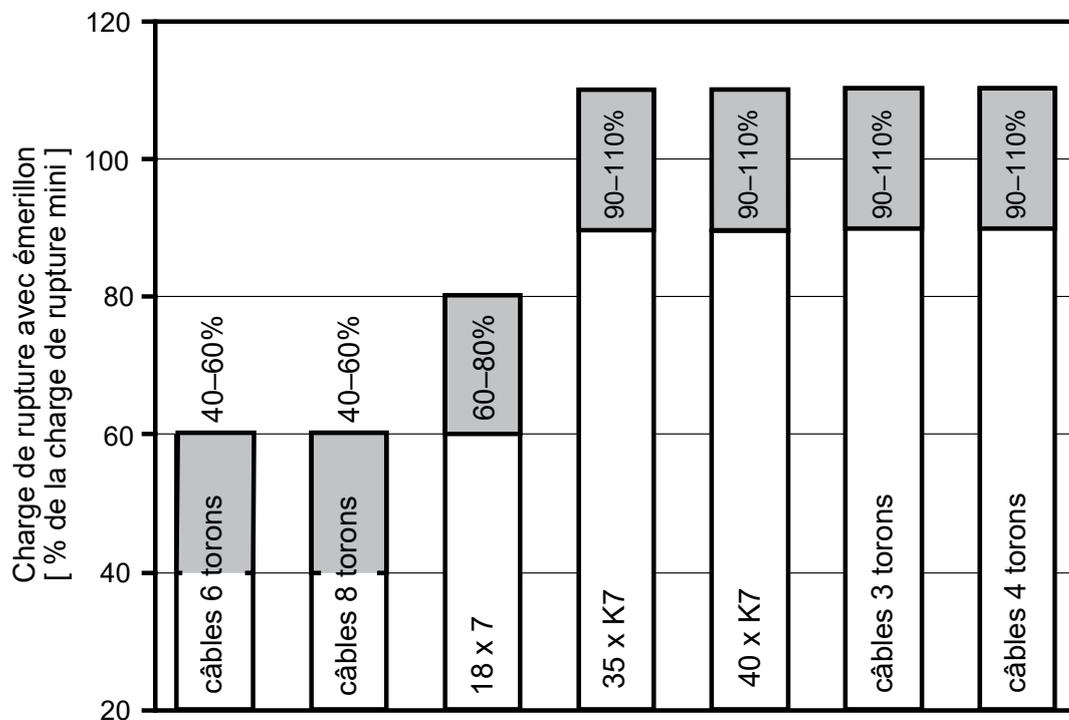


Fig. 14: Essais de traction avec un émerillon libre: charges de rupture pour différentes compositions de câbles

7. La rotation des câbles antigiratoires

Dans un câble antigiratoire, la somme des moments générés par une charge externe, d'une part dans l'âme métallique et d'autre part dans les torons externes, est égale à zéro. Un câble de cette conception ne tournera pas sous charge lorsqu'il est libre en rotation. Si les sections métalliques et les bras de levier sont correctement proportionnés, il n'y aura, en toutes circonstances, aucune tendance à la rotation, même si le câble est très chargé. Il n'y a que de très faibles moments qui sont annulés par de très légères rotations à peine mesurables. Pour ces câbles, l'homogénéité de la répartition du chargement n'est pas perturbée, même s'ils sont attachés par un émerillon. Ainsi, lors d'un essai de traction dans ces conditions, ils atteindront leur charge minimum de rupture.

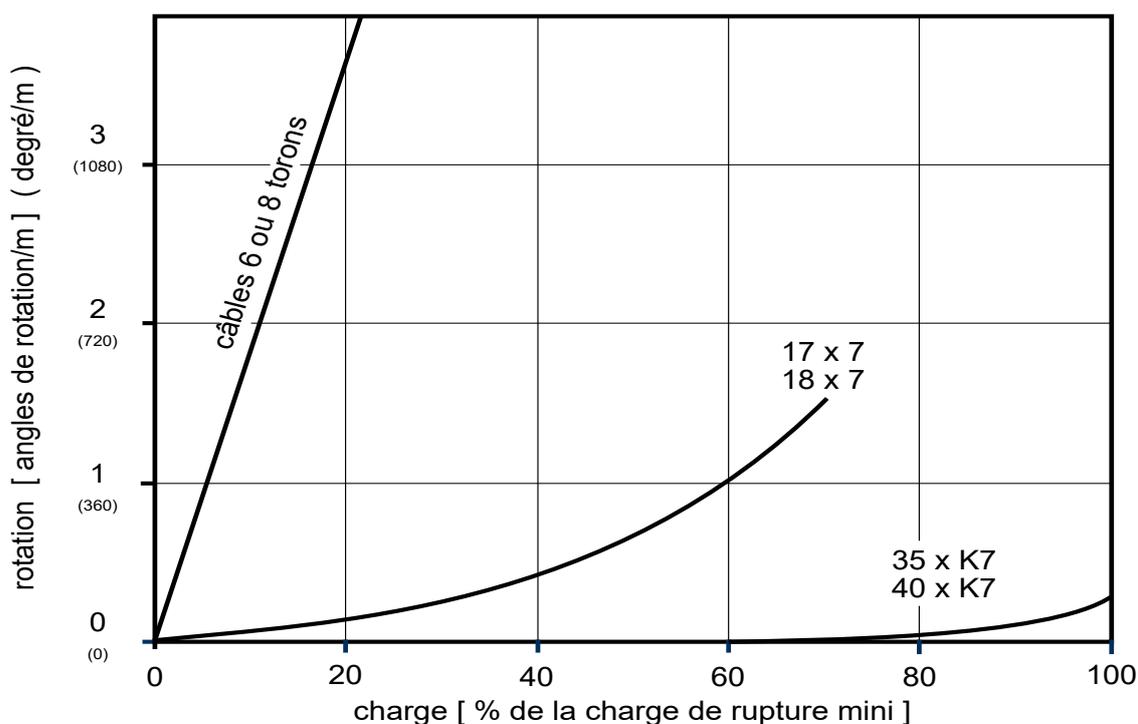


Fig. 15: Essais de traction avec un émerillon libre: angle de rotation pour différentes compositions de câbles l

Fig. 15 montre la rotation par unité de longueur de câbles de différentes compositions lors d'un essai de traction avec ancrage au travers d'un émerillon libre. Il faut préciser haut et fort que les câbles antigiratoires, peuvent être utilisés avec un émerillon tournant sans aucune perte au niveau du coefficient de sécurité. Au contraire, pour ces câbles l'utilisation d'un émerillon est même recommandée. En effet l'émerillon permet de libérer les rotations qui sont générées par les poulies ou tout autre facteur d'influence.

8. Entracte: Comment est-il possible de produire des câbles autant antigiratoires ?

Les torons d'un câble métallique sont positionnés autour de l'axe du câble selon un certain angle. Sous charge ces torons essaient de s'aligner le long de l'axe du câble, provoquant ainsi une rotation du câble autour de son axe.

Les fabricants essaient de rendre le câble antigiratoire en câblant la couche de torons externes en sens inverse de la couche interne, de telle manière que les torons externes chercheront à faire tourner le câble dans un sens et que les torons internes chercheront à le faire tourner en sens inverse.

Les torons externes ont un grand avantage vis-à-vis de la rotation car, étant plus loin du centre du câble, ils bénéficient d'un plus grand bras de levier.

On peut établir la comparaison avec une compétition dans laquelle deux équipes essaient de pousser un tourniquet, chacune d'elles en direction opposée. La compétition n'est pas équitable car une équipe pousse le tourniquet à l'extrémité d'un de ses bras, et bénéficie donc d'un bras de levier considérablement plus long, alors que les opposants poussent près du centre (Fig. 16).

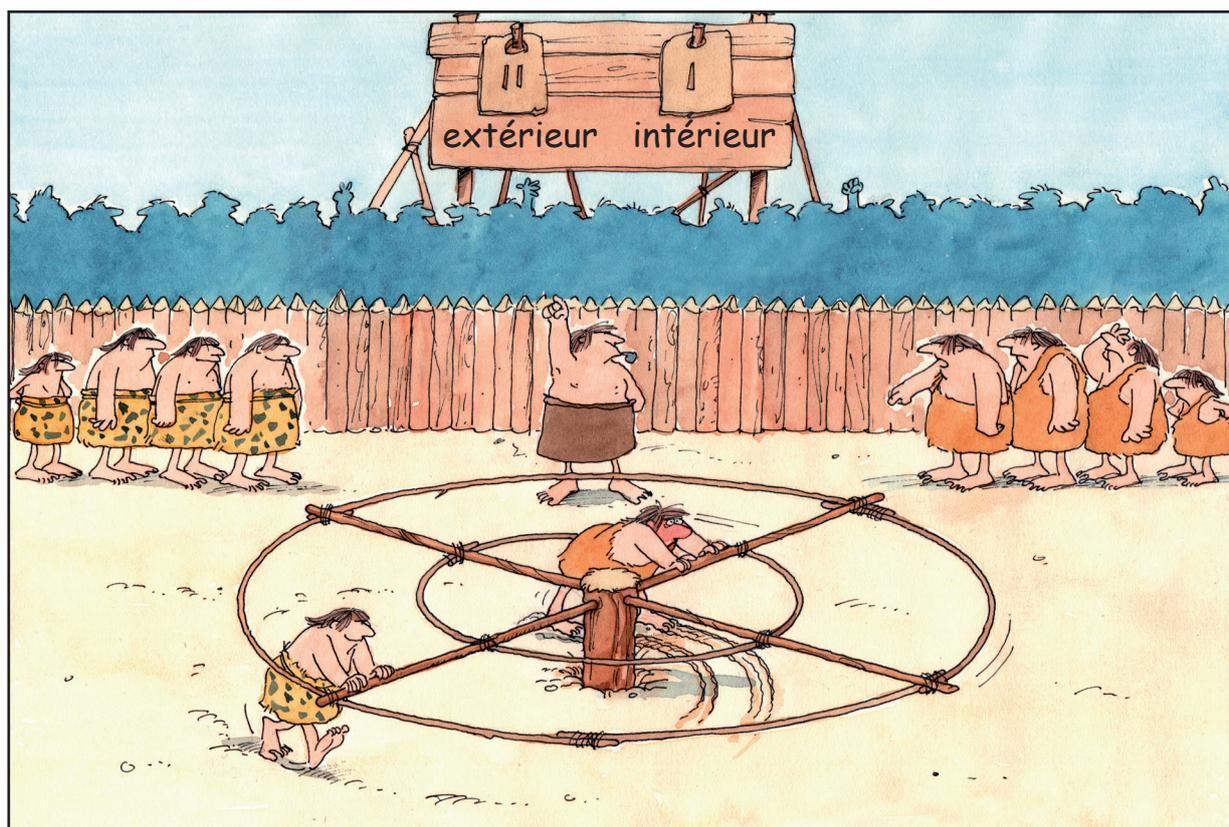


Fig. 16: Les torons externes ont un avantage du fait d'un bras de levier plus grand.

Si le nombre de compétiteurs est le même dans les deux équipes, ceux qui poussent le tourniquet près du centre n'ont pas une seule chance de gagner.

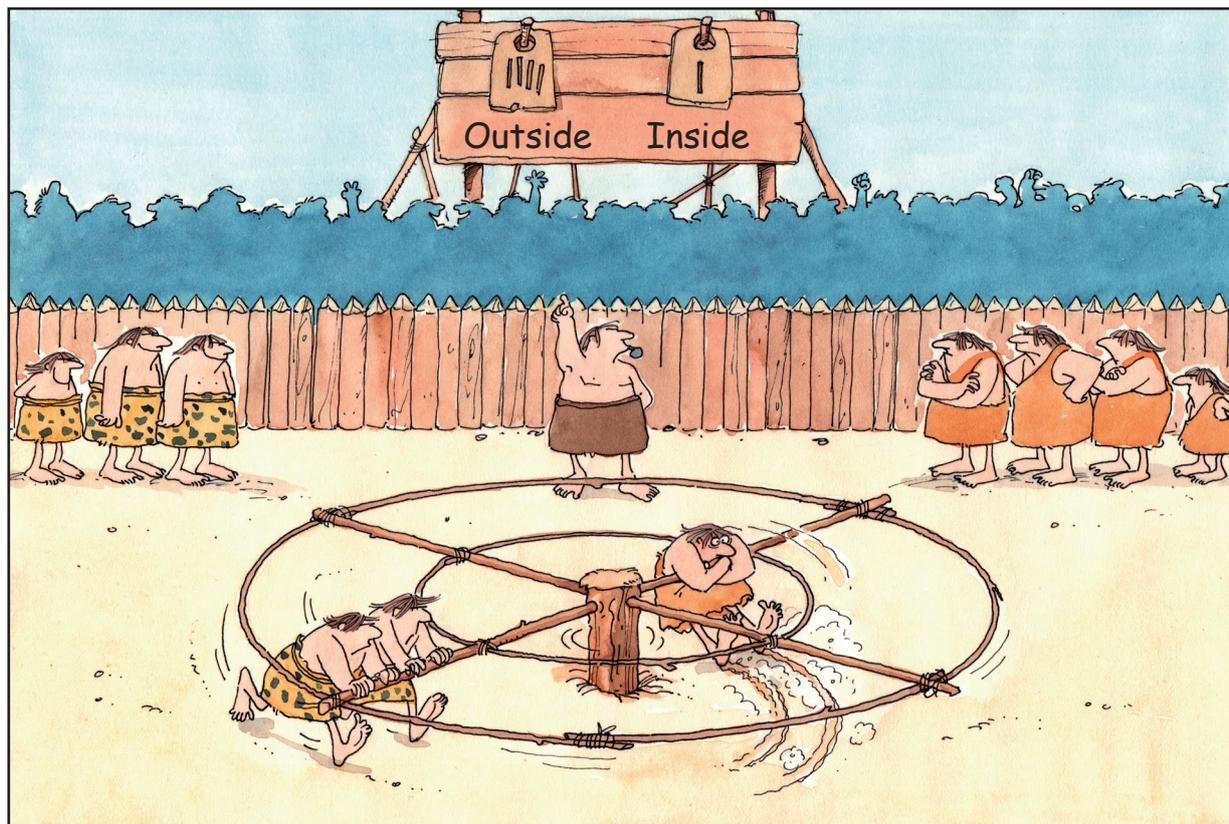


Fig. 17: Pour un câble semi antigiratoire 18x7 la section des torons externes est le double de celle de l'âme métallique

Ce sera encore plus difficile quand ils seront deux fois moins nombreux que ceux qui poussent à l'extrémité du bras (Fig. 17)!

C'est exactement ce qui se passe dans les câbles semi-antigiratoires 18x7 et 18x19, ainsi que leurs versions compactées. Ces compositions ont six torons intérieurs qui doivent combattre contre douze torons extérieurs de même diamètre, qui de plus disposent d'un bras de levier deux fois plus important. Les câbles de cette conception ne peuvent donc être résistants à la rotation que si les torons intérieurs sont déraisonnablement surchargés.

Etant très conscients de ces problèmes, les ingénieurs ont donné un avantage aux torons internes des câbles antigiratoires à environ 35 torons. Pendant la fabrication, un grand nombre de torons sont densément assemblés par un câblage parallèle.

Pour certaine constructions, l'âme métallique est encore renforcée par l'application d'un compactage additionnel. Le résultat est que la section métallique de l'âme est devenue considérablement plus importante que celle des torons externes.

Si l'on revient à notre exemple du tourniquet, nous avons maintenant plusieurs athlètes à l'intérieur, avec le petit bras de levier, combattant contre seulement quelques-uns situés à l'extérieur qui disposent du grand bras de levier (Fig. 18). Le résultat est une excellente stabilité en rotation.

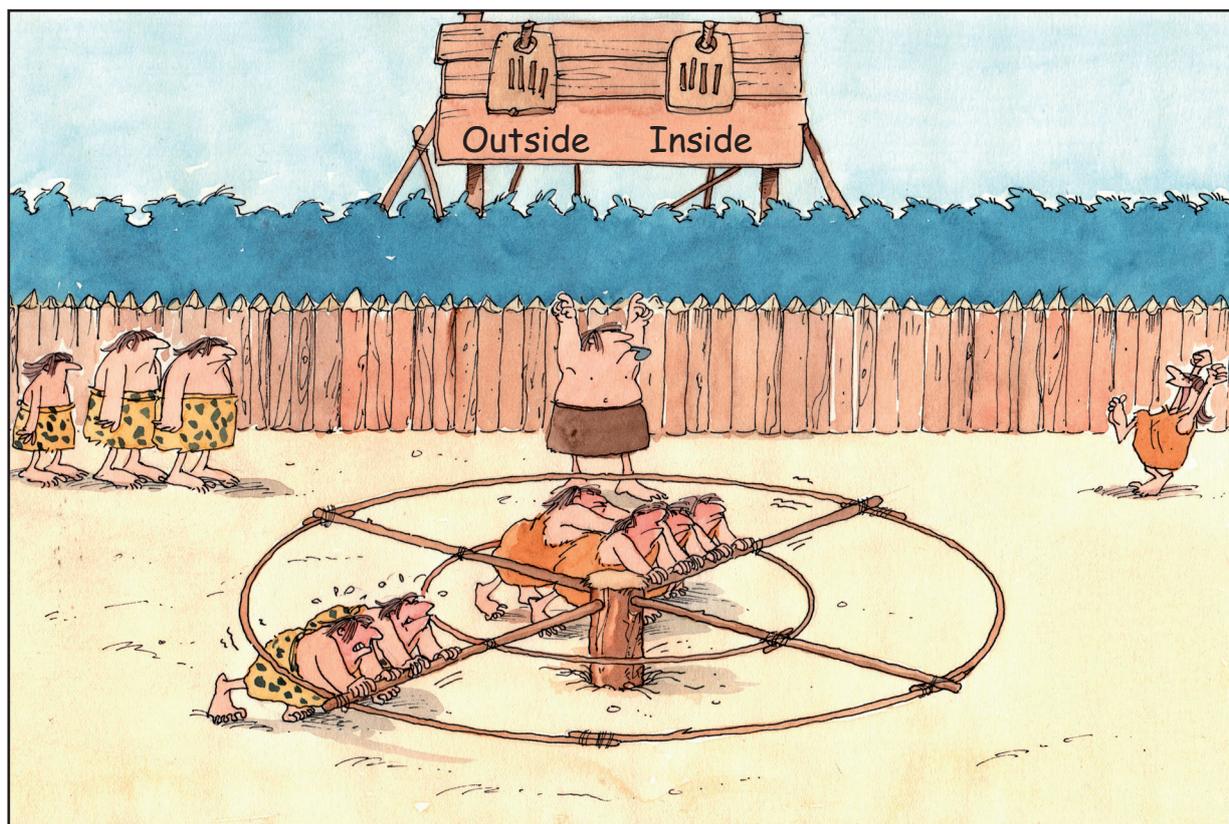


Fig. 18: Pour les câbles parfaitement antigiratoires la section métallique de l'âme est considérablement supérieure à celle des torons externes. De ce fait l'état d'équilibre est obtenu sur un grand spectre de charge.

9. La stabilité des moufles de grues

La stabilité ou l'étendue de la rotation d'un moufle ne dépend pas seulement de la composition du câble. La géométrie des enroulements a également une influence considérable. Nous allons ci-après analyser ces facteurs d'influence pour le cas d'un système à deux brins.

Un câble aura toujours tendance à réduire son moment en tournant autour de son propre axe. Pour les mouflages deux brins - ou plus - cette rotation aura systématiquement tendance à élever la charge (Fig. 19 et 20).

L'énergie interne du câble est transformée en énergie potentielle de la charge. Le système tournera jusqu'à ce que l'équilibre énergétique soit établi.

Plus la charge devra être levée pour un même angle de rotation du moufle, plus il faudra que le câble fournisse de l'énergie. Plus la charge devra être levée pour créer un angle de rotation, plus le moufle sera stable en rotation.

Fig. 19 met en scène, pour une rotation de 180° , deux mouflages de largeur différente. Par largeur nous entendons la distance entre les deux brins de câble.

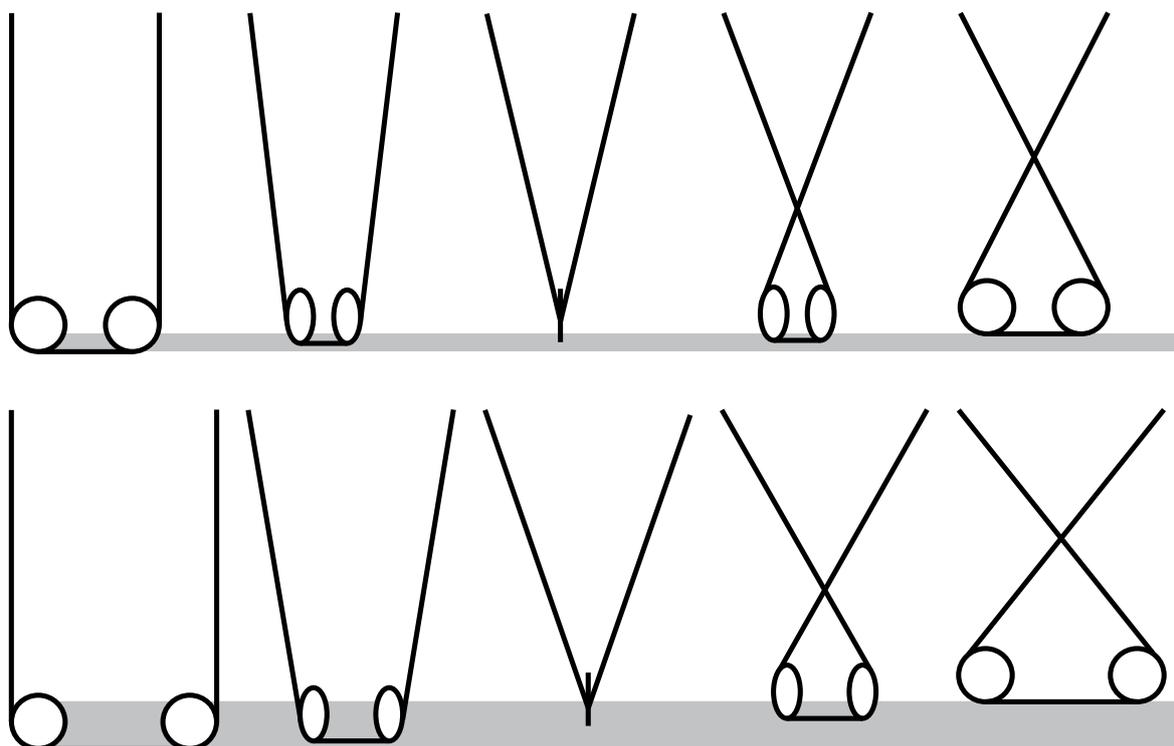


Fig. 19: Stabilité d'un mouflage: Influence de la largeur. Si cette largeur augmente, le moment du câble doit fournir beaucoup plus de travail pour lever la charge et faire tourner le moufle.

Sur la Fig. 19 - faible largeur - la charge n'est que faiblement élevée pour une rotation du moufle. Une faible énergie est donc suffisante pour faire vriller les câbles. Le système a une faible stabilité.

Sur la Fig. 19 - plus grande largeur - la charge est élevée d'une valeur considérablement plus importante pour obtenir une même rotation du moufle. Une plus grande énergie est donc nécessaire pour faire vriller les câbles. Par conséquent, le système avec la plus grande largeur de mouflage est beaucoup plus stable.

Fig. 20 met en scène, pour une rotation de 180°, deux mouflages de même largeur, mais avec des longueurs libres différentes, modélisant des systèmes avec des hauteurs de levage différentes.

Sur la Fig. 20 - grande hauteur de levage - la charge n'est que faiblement élevée. Une faible énergie sera suffisante pour obtenir le vrillage des câbles. Par conséquent, le système avec une grande hauteur de levage a une faible stabilité.

Sur la Fig. 20 - plus faible hauteur de levage - la charge est élevée d'une valeur considérablement plus importante. Une plus grande énergie est donc nécessaire pour faire vriller les câbles. Par conséquent, un système avec une petite hauteur de levage est considérablement plus stable.

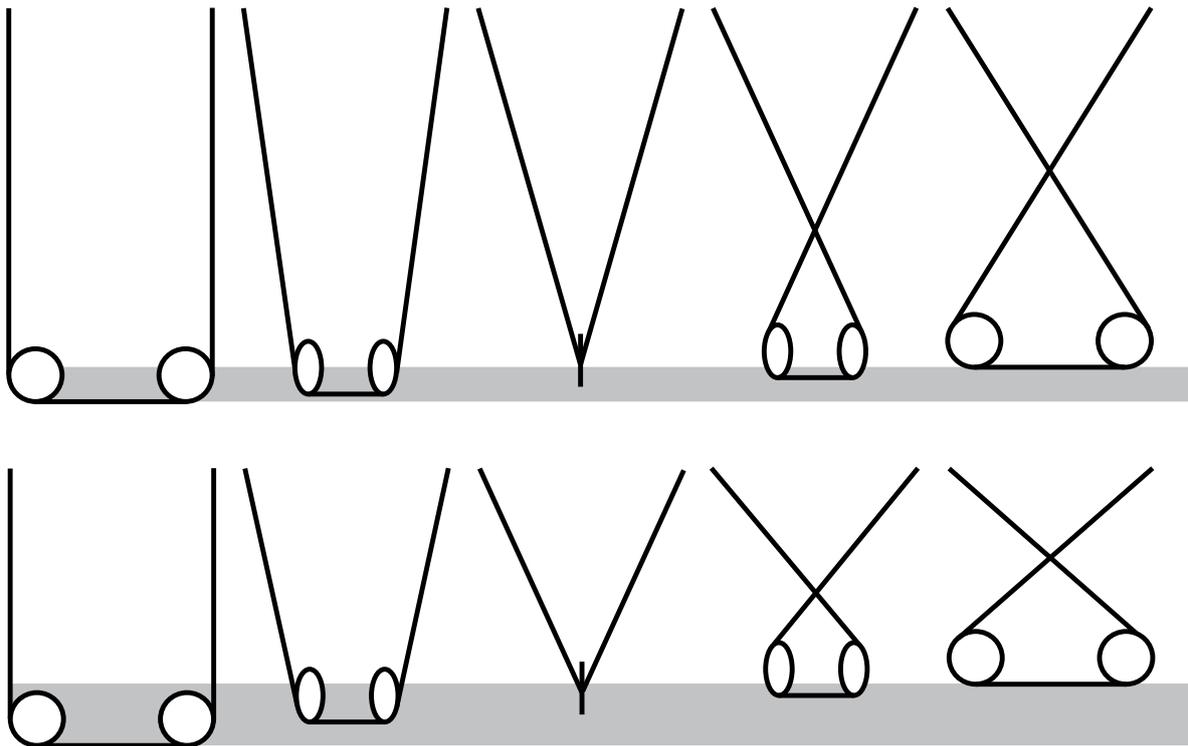


Fig. 20: Stabilité d'un mouflage: Influence de la hauteur. Si cette hauteur diminue, le moment du câble doit fournir beaucoup plus de travail pour lever la charge et faire tourner le moufle.

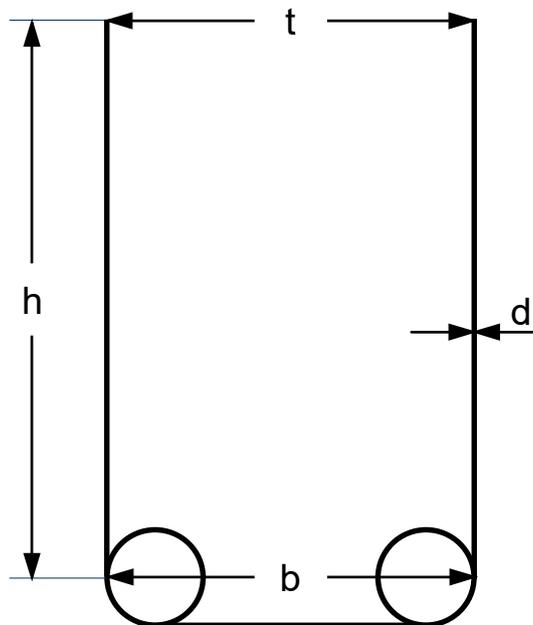


Fig. 21: Paramètres d'un mouflage

Dans la mesure où la hauteur de levage est plus grande que la largeur du moufle et s'il n'y a pas d'autres influences telles que le vent, ou le pivotement de la grue, la condition de stabilité en rotation du mouflage peut être exprimée par une formule assez simple.

La valeur maximum du facteur de couple du câble qui conduira à un vrillage (pivotement de 180°) du moufle, peut être déterminée sur la base de la formule suivante (Fig. 21):

$$k \leq \frac{b \cdot t}{4.8 \cdot h \cdot d}$$

ou

- k est le facteur de couple du câble
- b est l'écartement des câbles en bas, au niveau du moufle
- t est l'écartement des câbles en tête
- d est le diamètre nominal du câble
- h est la hauteur de levage

Les facteurs de couple k de quelques types de câbles sont donnés sur la Fig. 9.

La seule façon de n'obtenir aucune rotation du moufle est d'avoir un facteur $k=0$. Si le facteur k du câble est égal à celui calculé, il y aura rotation du moufle d'une valeur de 180°, donc vrillage. Pour des valeurs intermédiaires du facteur k du câble, il y aura rotation du moufle d'un angle intermédiaire.

Si k est considérablement inférieur à la valeur calculée, il n'y a donc pas de risque de vrillage. Si le facteur k est plus petit, mais cependant assez proche de la valeur limite, la rotation du moufle peut être considérable, et le vrillage peut intervenir suite à l'action de facteurs déstabilisants tels que vent ou moment supplémentaire généré par le pivotement de la grue.

La formule met en évidence que la stabilité du moufle augmente:

- avec la diminution du facteur de couple k du câble
- avec l'augmentation de l'écartement t en tête
- avec l'augmentation de l'écartement b en bas
- avec la diminution de la hauteur de levage h
- avec la diminution du diamètre nominal du câble d

La formule montre qu'un mouflage sera d'autant plus stable en rotation que le diamètre du câble diminue. C'est encore un argument qui incitera les concepteurs de grue à choisir un câble du plus petit diamètre possible.

La charge du câble n'apparaît pas dans la formule, et ce n'est pas un oubli. Cela signifie que la stabilité du mouflage est la même pour une charge de une tonne que pour une charge de deux tonnes.

En première approche, ceci peut paraître illogique. En effet, le doublement de la charge va conduire au doublement du moment du câble qui cherchera à faire tourner le moufle. Mais cette énergie de rotation devrait élever une charge deux fois plus importante, et par conséquent fournir une énergie deux fois plus grande.

La formule peut être présentée de manière à donner directement la hauteur maximum de levage h , avant que le vrillage du moufle n'intervienne:

$$h \leq \frac{b \cdot t}{4.8 \cdot k \cdot d}$$

Pour le calcul de la largeur minimum b (même écartement en tête et en pied), la formule s'écrit de la façon suivante:

$$b \geq \sqrt{k \cdot 4.8 \cdot h \cdot d}$$

Ce que nous venons d'expliquer pour des mouflages deux brins s'applique bien sûr également aux mouflages trois brins et aux mouflages multiples. Le tableau représenté Fig. 22, donne les formules pour des mouflages à différents nombres de brins.

Généralement la stabilité en rotation d'un mouflage augmente avec le nombre de brins. Une application numérique des formules du tableau Fig. 22, donne 100 m de hauteur de levage admissible pour un mouflage deux brins et 141 m pour un mouflage quatre brins à base carrée (Fig. 23).

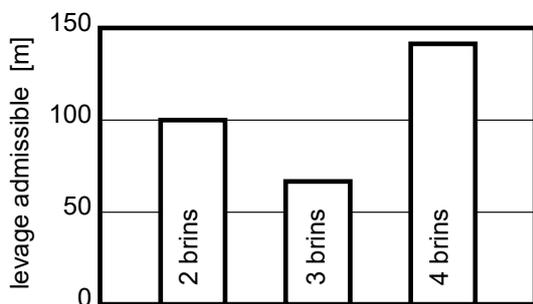


Fig. 22: Influence du nombre de brins sur la hauteur de levage admissible

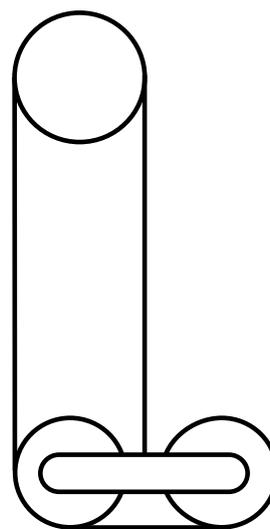


Fig. 23: Un mouflage trois brins est plus instable qu'un mouflage 2 brins

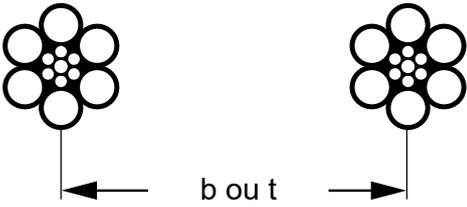
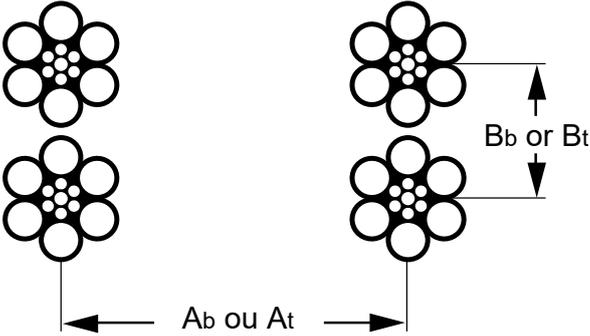
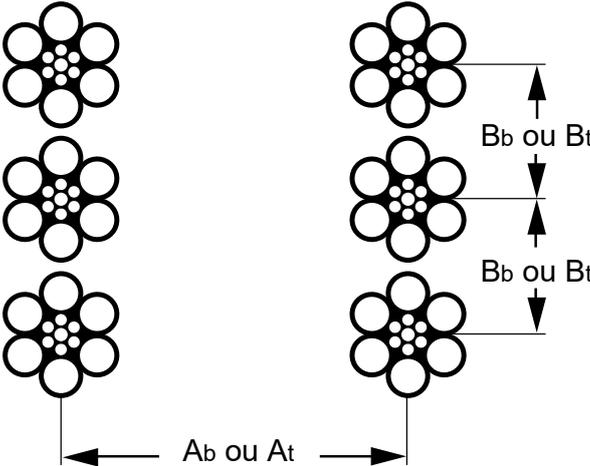
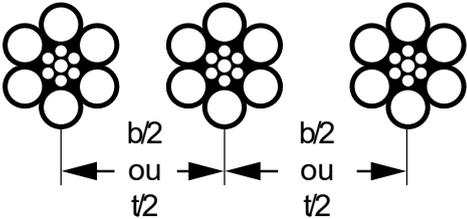
	<p>mouflage à deux brins:</p> $k < \frac{b \cdot t}{4.8 \cdot h \cdot d}$
	<p>mouflage à quatre brins:</p> $b = (A_b^2 + B_b^2)^{1/2}$ $t = (A_t^2 + B_t^2)^{1/2}$ $k < \frac{b \cdot t}{4.8 \cdot h \cdot d}$
	<p>mouflage à six brins:</p> $b = (A_b^2 + B_b^2 \cdot 8/3)^{1/2}$ $t = (A_t^2 + B_t^2 \cdot 8/3)^{1/2}$ $k < \frac{b \cdot t}{4.8 \cdot h \cdot d}$
	<p>mouflages à trois brins:</p> $k < \frac{b \cdot t}{7.2 \cdot h \cdot d}$

Fig. 24: Calcul de la stabilité d'un moufle pour des configurations: deux, quatre, six et trois brins. Notations : t = tête ; b = bas

Cependant si un troisième brin est attaché au moufle d'un système à deux brins (Fig. 24), la hauteur de levage n'est alors que de 67m. Elle est nettement inférieure à celle d'un système à deux brins.

Ceci s'explique par le fait que le troisième brin n'augmente pas l'écartement par rapport à un système à deux brins, alors qu'il y a maintenant trois brins, au lieu de deux précédemment, qui tendent à faire tourner le moufle.

10. La stabilité d'un système à deux câbles

Les systèmes de levage à deux câbles présentent un assez grand nombre d'avantages par rapport aux systèmes à un seul câble. Par exemple, pour le même nombre total de brins de câble la vitesse de levage est double.

Souvent le système à deux câbles est le seul qui permet ?? un enroulement sur une seule couche. Dans le cas de deux tambours, un avec un rainurage à droite associé à un câble gauche, et l'autre avec un rainurage à gauche associé à un câble droit, les moments des câbles se neutralisent mutuellement.

Par conséquent, les systèmes de ce genre sont très résistants à la rotation, même dans le cas d'utilisation de câbles non antigiratoires (Fig. 25).

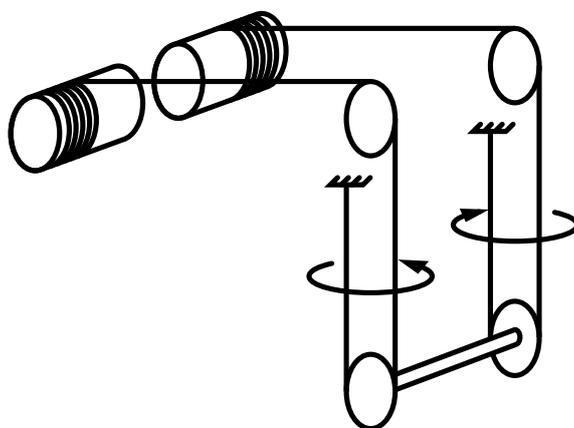


Fig. 25: Système de levage avec des câbles à droite et à gauche

Pour des raisons de construction, il est souvent nécessaire de réaliser de tels systèmes avec un seul câble dont les deux extrémités sont attachées sur un même tambour. Dans ce cas il est essentiel que le rainurage du tambour soit dans la direction opposée à celle du câblage du câble. Fig. 26 illustre un montage correct pour un câble droit sur un tambour rainuré à gauche. Le désavantage de ce montage est un léger déplacement de la charge pendant le levage.

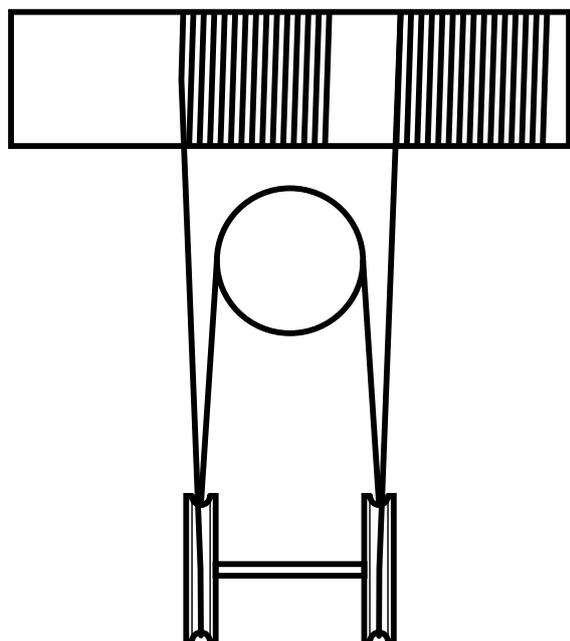


Fig. 26: Système de levage avec un tambour à deux rainurages à gauche

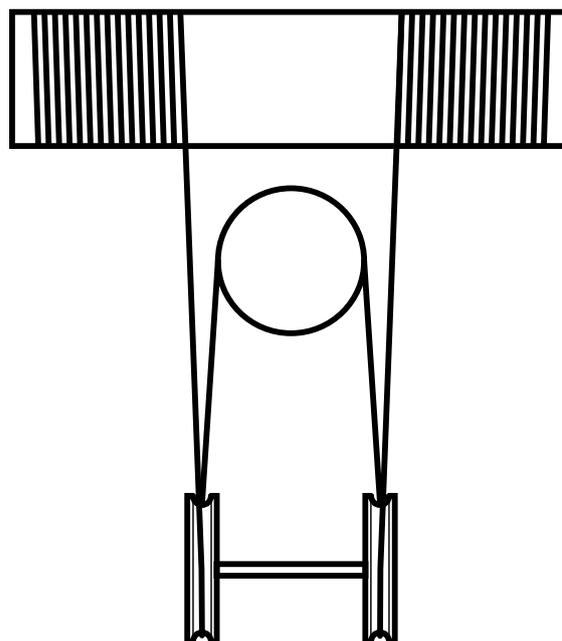


Fig. 27: Système de levage avec un tambour à un rainurage à gauche et un rainurage à droite

Fig. 27 montre un tambour double ayant un rainurage usiné à gauche et l'autre usiné à droite. Pendant les opérations de levage il n'y a pas de déplacement de la charge, mais sur un des côtés du tambour le câble est extrêmement sollicité en rotation.

Quelle que soit la direction de câblage choisie, elle ne sera jamais adaptée aux deux rainurages du tambour. Un des deux enroulements conduira toujours à une rotation importante du câble. Pour les installations dans lesquelles cette architecture cause des problèmes, la poulie d'équilibrage pourra - si possible - être remplacée par un palonnier. Ceci donnera la possibilité d'utiliser un câble gauche et un câble droit. Le système de levage sera alors de même nature que celui montré en Fig. 25.

Pour les cas où il n'est pas possible de changer la conception du système, l'utilisation d'un câble antigiratoire à quatre torons sera d'un grand secours. D'une part un câble de cette composition est relativement résistant à la rotation, et de plus, par opposition aux autres câbles semi-antigiratoires et antigiratoires, il n'a pas d'âme métallique. Il est par conséquent très tolérant vis-à-vis des phénomènes de rotation forcée.

11. Systèmes à deux câbles: Un câble droit et un câble gauche ou deux câbles antigiratoires?

Dans les installations de levage munies d'un câble gauche et d'un câble droit non antigiratoires, d'importants moments sont générés dans chacun des deux câbles durant le levage de la charge.

Du fait que ces moments ont la même intensité et sont dans des directions opposées, ils se neutralisent mutuellement. Par conséquent le moufle ne tourne pas.

Pour les installations avec deux câbles antigiratoires (de préférence ils seront aussi de pas de câblage opposé), les moments des âmes métalliques et des couches extérieures se neutralisent mutuellement à l'intérieur même des câbles; ainsi de la même manière le moufle ne tourne pas.

Il semble donc à priori que les installations de levage avec un câble droit et un câble gauche, tous deux non antigiratoires, sont aussi performantes que celles avec deux câbles antigiratoires.

Cette situation d'équilibre peut être perturbée, aussi bien par un pivotement de la grue autour de son axe que par la pression du vent, ou bien par tout autre facteur déstabilisant. Quelle est l'importance des moments qui, s'opposant à la rotation forcée, auront alors tendance à stabiliser le système?

Fig. 28 illustre l'évolution des moments d'un câble non antigiratoire (câble huit torons avec une âme plastifiée) en comparaison avec celle d'un câble antigiratoire (40xK7).

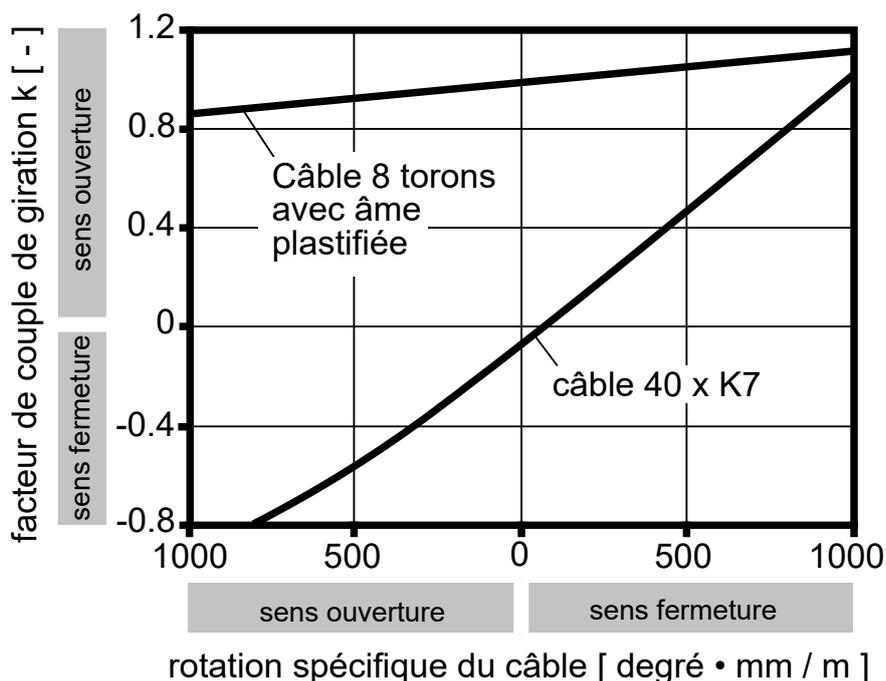


Fig. 28: Pour une même rotation forcée, la variation du facteur de couple (donc le moment de réaction) est plus important pour les câbles antigiratoires que pour les câbles non antigiratoires. Nota : La rotation spécifique du câble correspond à l'angle de rotation multiplié par le diamètre du câble et divisé par sa longueur. Cette donnée permet de comparer facilement des câbles de diamètres différents.

Les sollicitations forcées provoquent des changements de moment considérablement plus faibles dans le câble non antigiratoire que dans le câble antigiratoire. Dans le câble antigiratoire, les moments de réaction qui tendent à stabiliser le système sont quatre à cinq fois plus grands que dans un câble non antigiratoire.

Fig. 29 et 30 représentent les niveaux de stabilité des systèmes. Les deux systèmes sont stables, mais il faut plus d'énergie pour déstabiliser le système avec câbles antigiratoires. Par conséquent, pour un simple levage avec transport en ligne droite, sans aucun autre facteur déstabilisant, les deux systèmes sont aussi bons l'un que l'autre. Si, pour une quelconque raison, des moments perturbateurs tels que par exemple pivotement de la grue, agissent, une installation de levage avec deux câbles antigiratoires sera nettement plus stable qu'une installation avec un câble droit et un câble gauche.

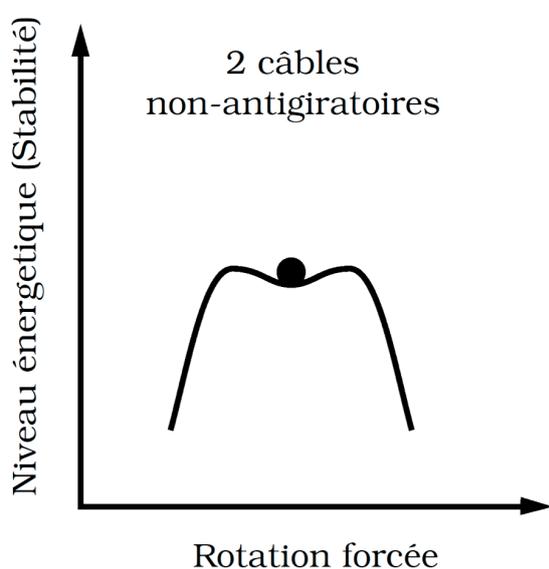


Fig. 29: Pour un système avec deux câbles non antigiratoires (un câblé à droite et l'autre câblé à gauche), le moufle est en équilibre (situation stable) mais il suffit de peu d'énergie pour le déstabiliser.

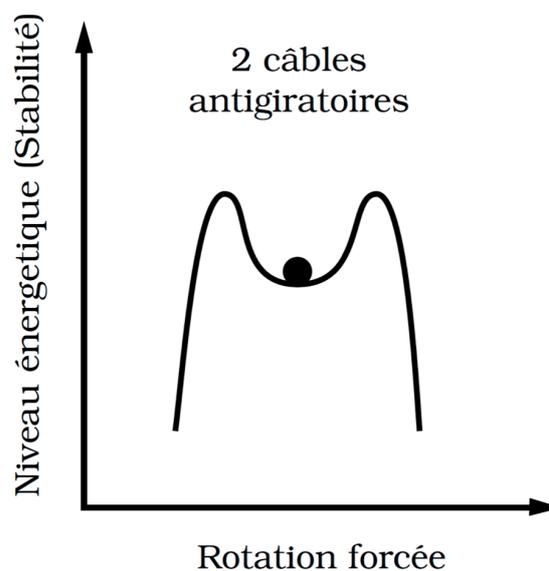


Fig. 30: Pour un système avec deux câbles antigiratoires (de préférence un câblé à droite et l'autre câblé à gauche), le moufle est en équilibre mais il faut beaucoup d'énergie pour le déstabiliser.

12. L'évolution des moments des câbles induite par une rotation forcée

Nous avons jusqu'ici essayé d'analyser la tendance à la rotation sous charge des câbles et des systèmes de levage. Il est cependant fréquent que des câbles aient également une tendance à la rotation pour des raisons indépendantes du chargement. Ce phénomène est analysé ci-après.

Solliciter en torsion un câble qui est fixé rigidement (avec blocage en rotation) à chacune de ses extrémités provoquera un allongement de son pas de câblage d'un côté, et un raccourcissement du pas de l'autre côté. L'exemple chiffré suivant illustre ce phénomène.

Un câble d'une longueur égale à 200 fois son pas de câblage est fixé rigidement sur ses deux extrémités (Fig. 31). L'entraînement en rotation du câble se fait exactement en son milieu. Il y a donc, de part et d'autre du point de sollicitation, une longueur correspondant à cent pas.

Le câble est alors entraîné en rotation. Cinq tours sont effectués. Il en résulte que cinq pas ont été ajoutés par force sur le côté gauche qui dispose maintenant de 105 pas raccourcis. Dans le même temps, cinq pas ont été soustraits sur la partie droite, c'est-à-dire que la longueur correspond maintenant à 95 pas allongés (Fig. 32).

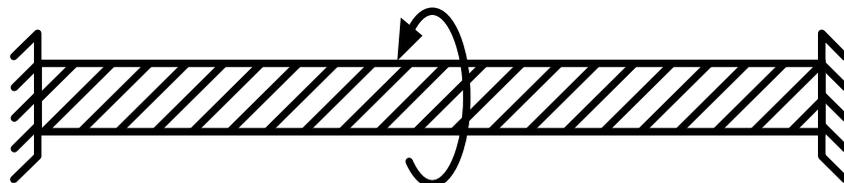


Fig. 31: La rotation forcée d'un câble...

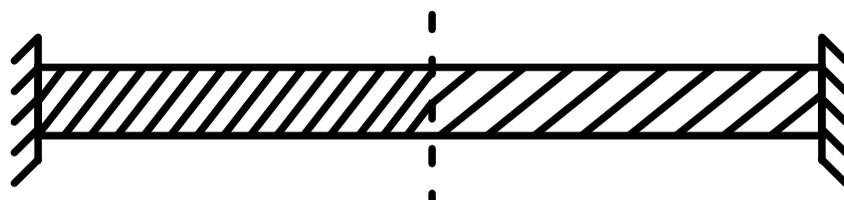


Fig. 32: ... provoque une réduction du pas de câblage sur un côté (gauche), et une augmentation du pas de câblage de l'autre côté (droite).

Du fait que les deux extrémités du câble sont fixées avec blocage en rotation, le nombre total de pas ne change pas.

Sur le côté gauche, le changement du pas, dans le sens fermeture (raccourcissement), crée un énorme moment agissant dans le sens ouverture. Sur la partie droite, le changement du pas, dans le sens ouverture (allongement), crée un énorme moment agissant dans le sens fermeture.

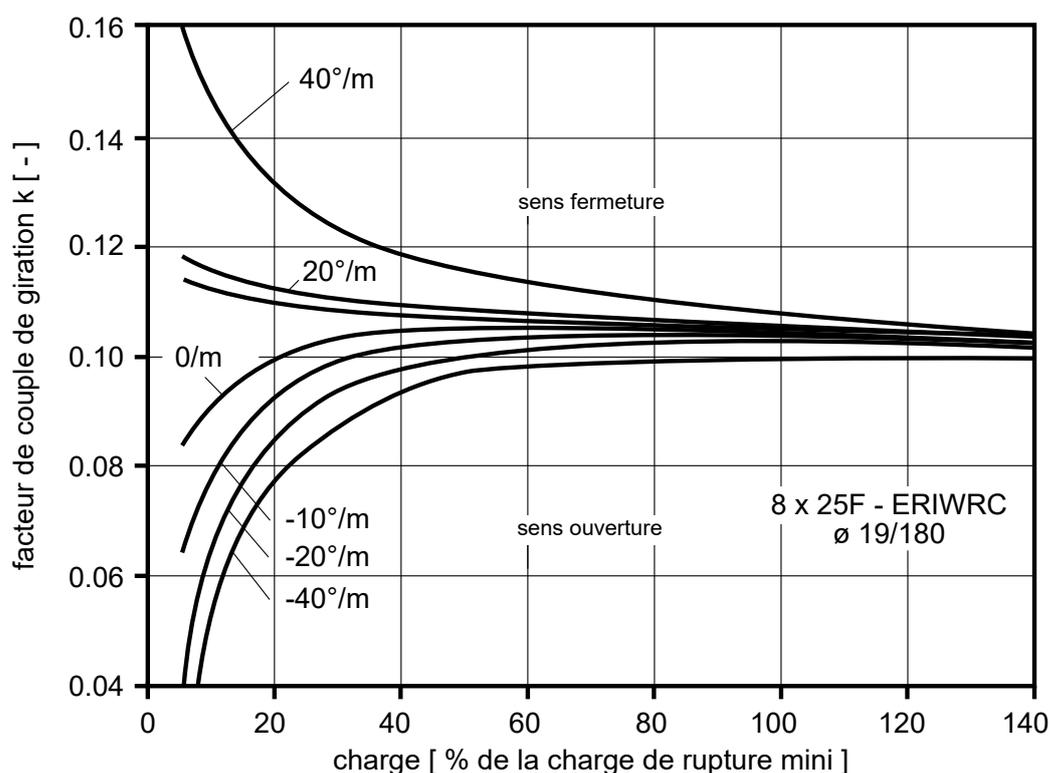


Fig. 33: Facteur de couple d'un câble non antigiratoire (Câble 8 torons avec âme métallique plastifiée): évolution provoquée par une rotation forcée du câble. Le facteur de couple est de niveau élevé, mais pour des charges significatives il ne change presque pas en fonction de la sollicitation.

Quelle est l'importance des moments générés par la rotation forcée? Nous allons voir que les câbles non antigiratoires, semi-antigiratoires et antigiratoires réagiront de façon très différente à une sollicitation en rotation.

Fig. 33 illustre l'incidence d'une rotation forcée sur le facteur de couple d'un câble non antigiratoire (Câble 8 torons avec âme métallique plastifiée). Il apparaît clairement que, d'une part l'évolution du facteur de couple n'est pas excessive et que d'autre part, elle décroît rapidement dès que la charge augmente.

La règle suivante peut être déduite:

Sous l'action d'une rotation forcée, l'évolution du moment d'un câble non antigiratoire est relativement faible.

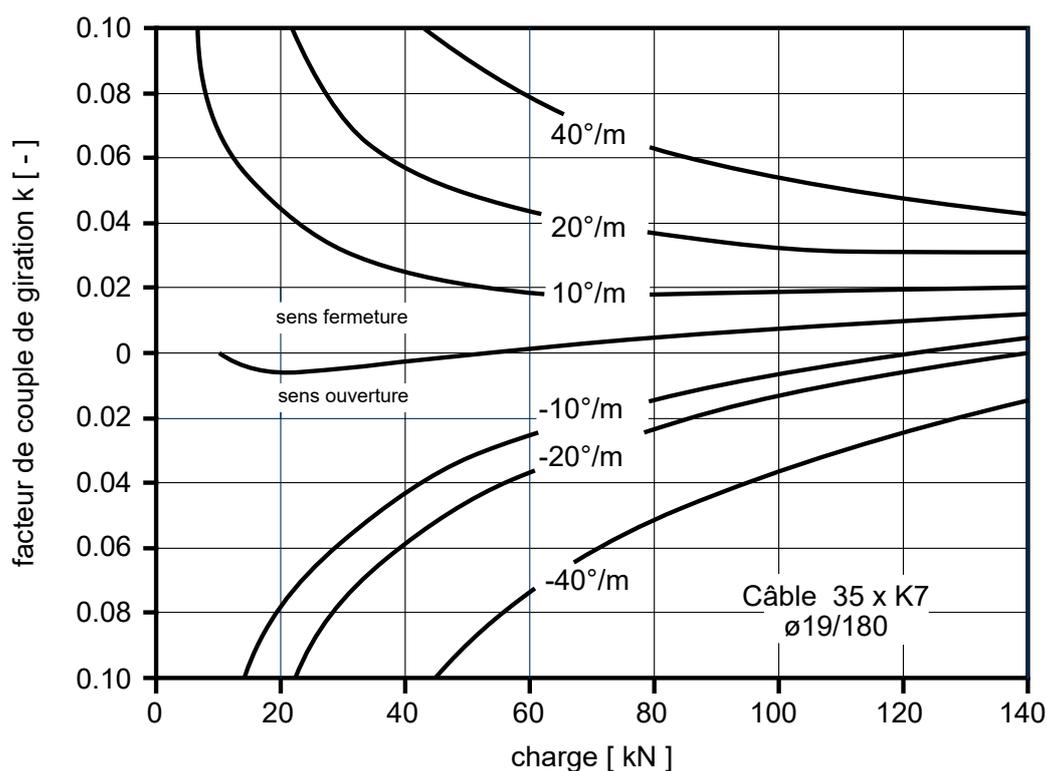


Fig. 34: Facteur de couple d'un câble antigiratoire (Câble 35x7): évolution provoquée par une rotation forcée du câble. Le facteur de couple est de niveau faible, mais même pour des charges significatives il change en fonction de la sollicitation.

Fig. 34 montre l'évolution du facteur de couple d'un câble antigiratoire (35x7), sous l'action d'une rotation forcée. Alors que le facteur de couple d'un câble non sollicité en torsion est pratiquement nul, la rotation, qu'elle soit dans le sens du câblage (raccourcissement), ou dans le sens opposé (allongement) génère une évolution importante du facteur de couple. De plus cette évolution reste significative même si le chargement augmente.

Ce phénomène résulte de la différence de l'influence de la rotation forcée, respectivement sur l'âme métallique et sur les torons externes.

Quand le câble est détourné, la longueur du pas de la couche extérieure est augmentée alors que celle de l'âme métallique est réduite. Quand le câble est sollicité en torsion dans le sens du raccourcissement du pas, le pas de la couche extérieure est raccourci alors que celui de l'âme métallique est augmenté.

Quoi qu'il en soit, dans les deux cas l'âme métallique réagira exactement de façon opposée aux torons de la couche externe.

La règle suivante peut être déduite:

Sous l'action d'une rotation forcée, l'évolution du moment d'un câble semi-antigiratoire ou antigiratoire est extrêmement importante.

Cette analyse théorique permet de tirer des règles pour les applications pratiques. En cas d'utilisation de câbles antigiratoires, il faut s'assurer qu'ils ne seront pas forcés en rotation. Dans un état contraint en rotation, un câble, bien qu'il soit antigiratoire, pourra avoir un moment plus grand qu'un câble non antigiratoire.

Les mécanismes conduisant à la sollicitation en torsion des câbles, ainsi que les moyens de les éviter, feront l'objet du chapitre suivant.

13. La rotation forcée des câbles sur les poulies

Pour garantir à un câble de bonnes conditions d'exploitation, le système de levage doit être conçu de façon à ce que le câble entre et sorte des poulies parfaitement dans leur alignement. Cependant, en pratique, il est presque impossible d'éviter un léger angle de déflexion entre le câble et la poulie. Ceci est particulièrement vrai pour les systèmes multibrins, dans lesquels le câble passe successivement sur différentes poulies sous différents angles de déflexion.

L'effet de cet angle de déflexion est que le câble n'entre pas sur la poulie au point le plus bas de la gorge. Il touche d'abord le flanc de la gorge, puis il roule au fond de cette gorge (Fig. 35). Ce phénomène de roulement provoque une sollicitation en rotation du câble.

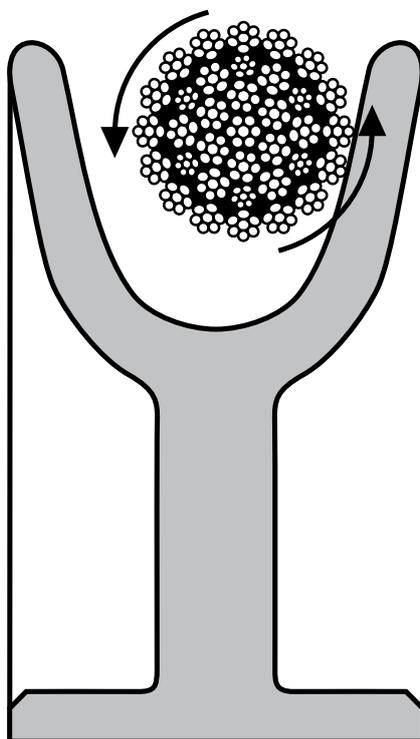


Fig. 35: Le câble roule au fond de la gorge.

La Fig. 36 montre, pour un angle de déflexion de 1° , l'évolution de la rotation du câble entre le point initial de contact sur la joue de la gorge, et la position finale, lorsque le câble est au fond de la gorge. Il apparaît qu'une petite déflexion n'entraîne qu'une légère rotation du câble. La Fig. 37 illustre le même phénomène, mais pour un angle de déflexion de 5° . Il apparaît clairement que la rotation du câble n'est pas proportionnelle à l'angle de déflexion. Ainsi une faible augmentation de l'angle de déflexion conduira à une grande augmentation de la rotation.

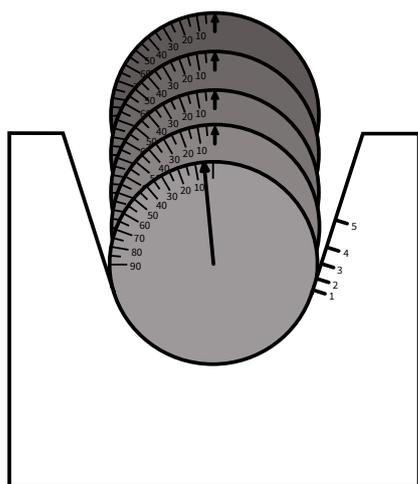


Fig. 36: Légère torsion du câble si l'angle de déflexion est de 1° .

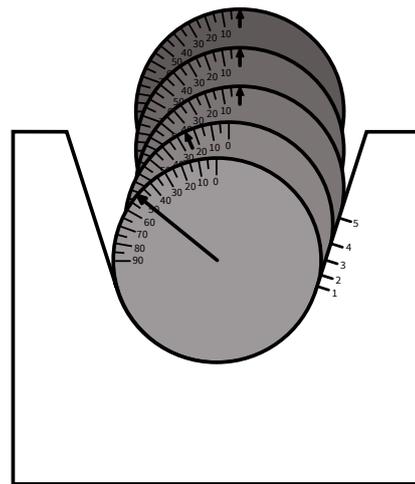


Fig. 37: Importante torsion du câble si l'angle de déflexion est de 5° .

Dans un mouflage multibrins les angles de déflexion génèrent des sollicitations qui toutes agissent dans le même sens et donc ne peuvent que s'additionner.

Ce phénomène sera d'autant plus significatif que le coefficient de frottement au niveau du contact sera élevé. Ainsi un câble sec sera plus sollicité qu'un câble bien lubrifié. De la même manière un câble sera plus sollicité en rotation par une poulie Nylon que par une poulie métallique.

Quand il n'est pas facile de trouver la cause de l'endommagement d'un câble, il est souvent intéressant d'analyser le câble déposé du point de vue de l'évolution de son pas de câblage. La mesure du pas est réalisée soit directement sur le câble, soit grâce à l'analyse d'empreintes prises sur ce câble.

La courbe montrant l'évolution du pas de câblage en fonction de la longueur du câble permettra de mettre clairement en évidence les parties du câble sollicitées en torsion dans le sens de l'augmentation du pas de câblage, et celles sollicitées dans le sens du raccourcissement.

La Fig. 38 montre, pour un câble déposé, l'évolution du pas en fonction de la longueur. Sur la majorité de la longueur le pas est de 100% de la valeur théorique. Cependant, dans la zone 117 m, une très nette variation est observable.

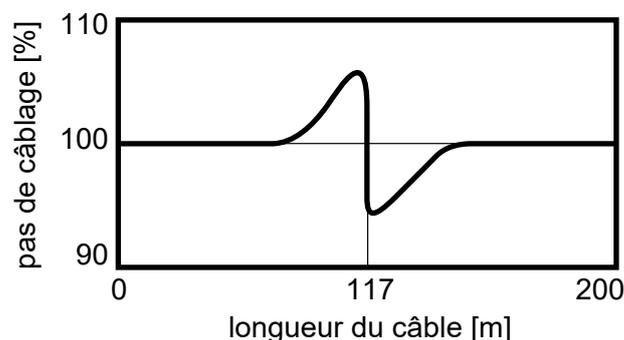


Fig. 38: Changement du pas de câblage généré par une poulie

L'annexe A présente une méthode pour mesurer le pas de câblage.

A la gauche de ce point environ 20 m de câble ont été sollicités en ouverture, il y a donc une augmentation du pas de câblage. A la droite de ce même point, approximativement 20 m de câble ont été sollicités en fermeture, avec donc une réduction du pas de câblage. On peut alors conclure que la partie de câble située à 117 m +/- 20 m passe sur une poulie sous un angle de déflexion important. Avec un plan du mouflage il est ainsi souvent relativement facile d'identifier la poulie responsable.

Nous avons vu que la rotation générée dans le câble par un angle de déflexion excessif conduit au risque d'un changement de la structure de ce câble.

L'âme métallique très surchargée va se détériorer prématurément. Dans le même temps les torons extérieurs donneront, lors d'un contrôle visuel, l'image d'un câble en parfait état. Une telle situation est extrêmement dangereuse. Par conséquent l'angle de déflexion maximum autorisé dans une installation à câble est en général limité à 4°. De plus, une rotation de cette nature peut détordonner le câble jusqu'à décharger complètement les torons extérieurs, de telle manière que la charge sera alors totalement supportée par l'âme métallique.

Du fait des différences de comportement entre l'âme métallique et les torons externes, les câbles semi-antigratoires (à l'exception du câbletrois ou quatre torons sans âme) et antigratoires, sont beaucoup plus sensibles aux rotations forcées que ne le seraient les câbles non antigratoires. Par conséquent la DIN 15020 limitait raisonnablement l'angle de déflexion maximum à 1,5° pour les câbles semi-antigratoires et antigratoires. Malheureusement, la dernière révision de la norme ISO 16625 limite cette valeur à 2°.

Les concepteurs et les utilisateurs de grues ont grandement intérêt à rester en deçà de ces valeurs.

Un câble supporte mieux une torsion dans le sens fermeture que dans le sens ouverture. En conséquence il est préférable d'utiliser un câble gauche dans un mouflage droit, ou un câble droit dans un mouflage gauche.

- Un câble toronné à droite doit être utilisé dans un mouflage à gauche.
- Un câble toronné à gauche doit être utilisé dans un mouflage à droite.

Voici comment déterminer le sens d'un mouflage. Il faut se placer du côté de l'entrée du câble dans le mouflage (coté tambour) et suivre le câble avec son doigt de l'entrée vers la sortie du mouflage (coté point fixe). Si l'on tourne le doigt dans le sens horaire, le mouflage est un mouflage droit. Si l'on tourne dans le sens antihoraire, le mouflage est mouflage gauche (Fig. 39).

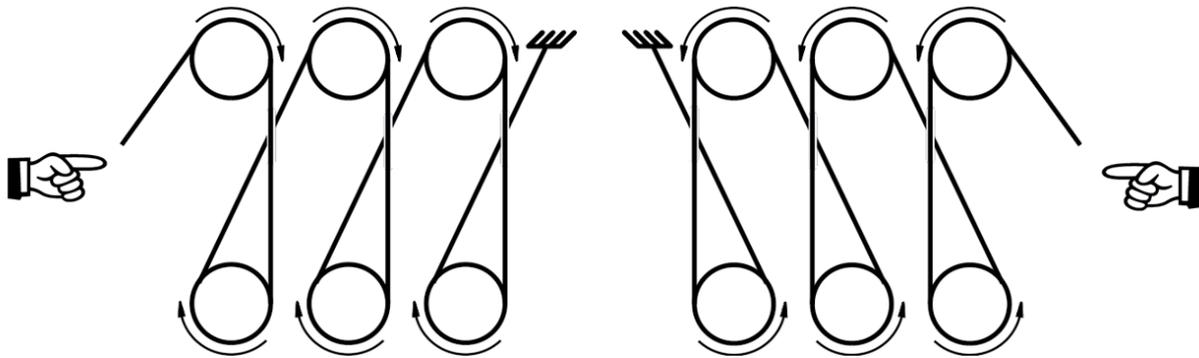


Fig. 39: Pour déterminer le sens d'un mouflage il faut se placer du côté de l'entrée du câble dans le mouflage (coté tambour) et suivre le câble avec son doigt de l'entrée vers la sortie du mouflage (coté point fixe). Si l'on tourne le doigt dans le sens horaire, le mouflage est un mouflage droit. Si l'on tourne dans le sens antihoraire, le mouflage est mouflage gauche.

14. La rotation forcée lors de l'enroulement sur un tambour

Le câble est enroulé sur un tambour sous un angle α , angle d'inclinaison des gorges du tambour (Fig. 40).

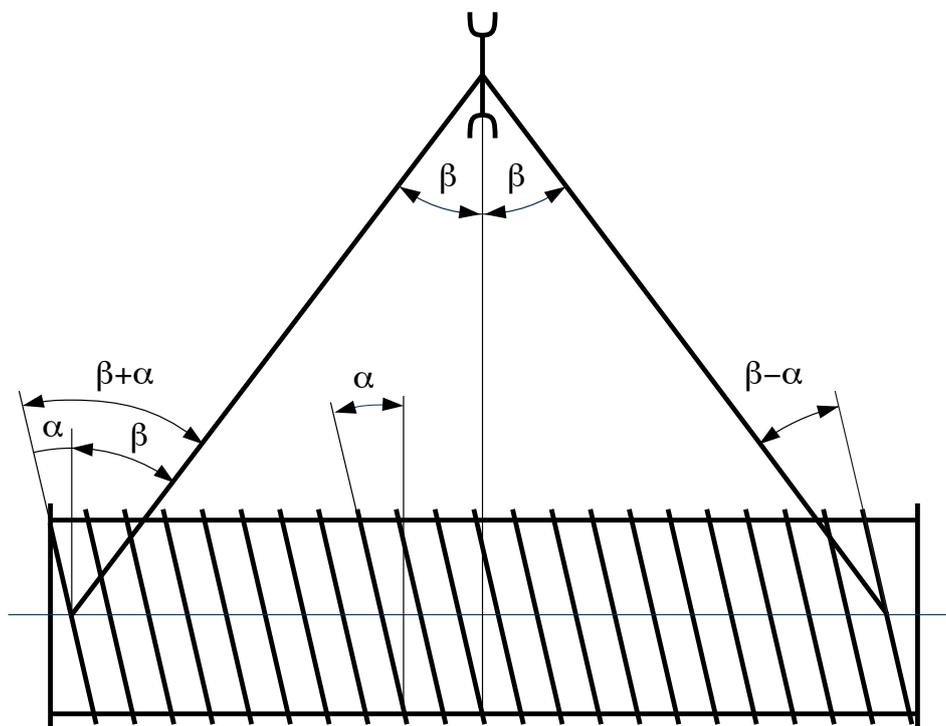


Fig. 40: Angles de déflexion au niveau du tambour et de la poulie

L'angle de déflexion β entre le câble et la première poulie est variable. Sur la Fig. 40, par exemple, cet angle sera égal à zéro si le câble occupe la moitié du tambour.

L'angle β aura sa valeur maximum, soit si le tambour est plein, soit si le tambour est vide.

Aux deux extrémités gauche et droite du tambour, la déflexion entre le câble et le tambour est respectivement de $\beta+\alpha$ et $\beta-\alpha$.

L'angle de déflexion maximum ($\beta+\alpha$) autorisé sur un tambour est généralement limité à 4° . Pour les câbles antigiratoires cet angle était limité à 1.5° (DIN 15020). Il est maintenant limité à 2° (ISO 16625, dernière révision). Les concepteurs et les utilisateurs de grues seront bien avisés de considérer cet angle comme une valeur extrême.

***Un câble toronné à droite doit être utilisé sur un tambour rainuré à gauche.
Un câble toronné à gauche doit être utilisé sur un tambour rainuré à droite.***

Une violation de cette règle conduira d'une part à une importante torsion dans le sens ouverture (augmentation du pas de câblage) de la partie du câble enroulée sur le tambour, et d'autre part à une importante torsion en sens fermeture (réduction du pas de câblage) du reste du câble (Fig. 41).

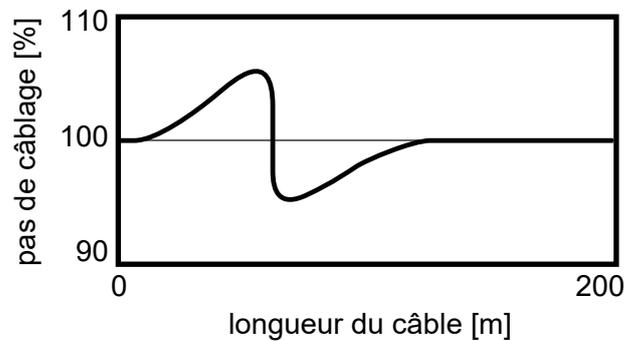


Fig. 41: Changement du pas de câblage créé par un tambour avec rainurage dans le mauvais sens

Voici comment déterminer le sens d'un tambour. Il faut se placer du côté du tambour sur lequel le câble est attaché, et suivre le câble avec son doigt, du point fixe vers la sortie du tambour (Fig. 42). Si l'on tourne le doigt dans le sens horaire le tambour est un tambour droit. Si l'on tourne le doigt dans le sens antihoraire le tambour est un tambour gauche.

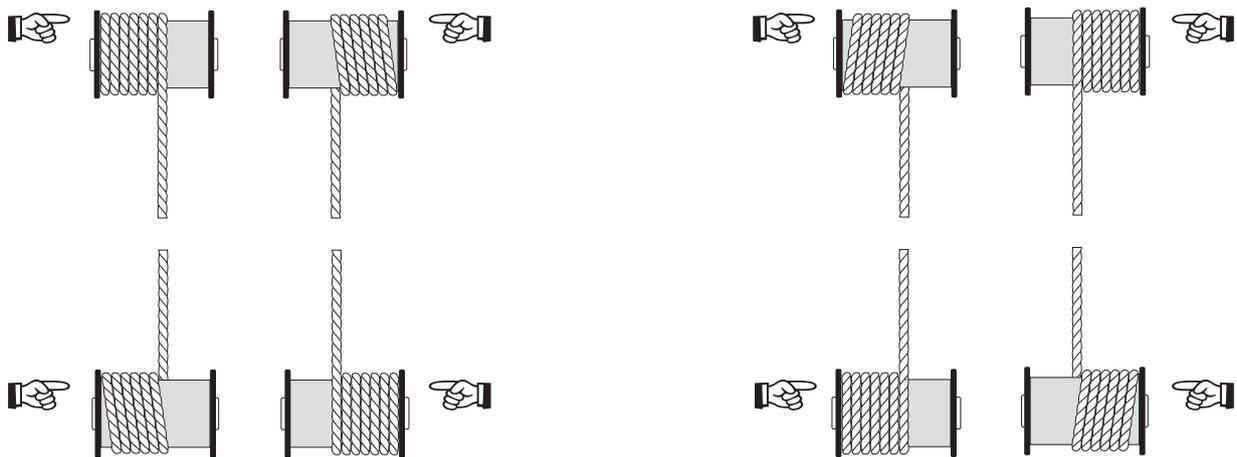


Fig. 42: Si le doigt se dirige dans le sens anti horaire, le tambour (mouflage) est fileté à gauche, il faut monter un câble à droite (Fig. gauche). Si le doigt se dirige dans le sens horaire, le tambour (mouflage) est fileté à droite, il faut monter un câble à gauche (Fig. droite).

Une trop grande torsion du câble produira des dommages irréparables, tels que formation de “cage à oiseaux” dans la partie détournée, ou bien apparition de parties protubérantes de l’âme métallique dans la partie refermée.

Ces deux types de défauts apparaissent souvent sur le même câble. La Fig. 43 montre la détérioration du câble dans la partie détournée, alors que la Fig. 44 montre la détérioration du même câble, mais dans sa zone sollicitée dans le sens fermeture.



Fig. 43: Surlongueur des torons externes créée par une sollicitation en rotation du câble dans le sens ouverture.

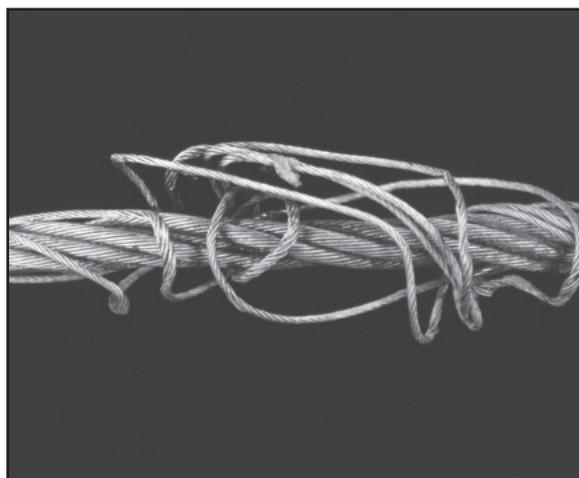


Fig. 44: Surlongueur des torons internes créée par une sollicitation en rotation du câble dans le sens fermeture.

Outre le choix de la bonne direction de câblage, d’autres facteurs peuvent améliorer les conditions de service d’un système de levage. Il est possible d’agir sur l’angle β . Il apparaît clairement que cet angle diminue avec l’augmentation de la distance entre le tambour et la poulie de tête (Fig. 40).

Le plus grand angle de déflexion, $\beta + \alpha$, peut être réduit en décalant sur le côté la poulie ou le tambour. Cette solution n’a bien évidemment de sens que pour des tambours à enroulement sur une seule couche. Il faut de plus conserver à l’esprit que cette solution conduit à une augmentation de l’angle de déflexion sur la poulie.

Il existe une autre solution beaucoup plus efficace pour réduire l’angle $\beta + \alpha$. Elle consiste en une orientation du tambour selon un angle γ par rapport à l’axe de la poulie (Fig. 45).

Les déflexions sur la poulie ne changent pratiquement pas. Le plus grand angle de déflexion est réduit à $\beta + \alpha - \gamma$, alors que sur l’autre extrémité du tambour l’angle devient $\beta - \alpha + \gamma$. On constate que si l’angle d’inclinaison du tambour (γ) est égal à l’angle de rainurage du tambour (α), la déflexion maximum du câble sur le tambour est alors de β .

Une autre possibilité de réduire les angles de déflexion consiste en l’augmentation du diamètre du tambour.

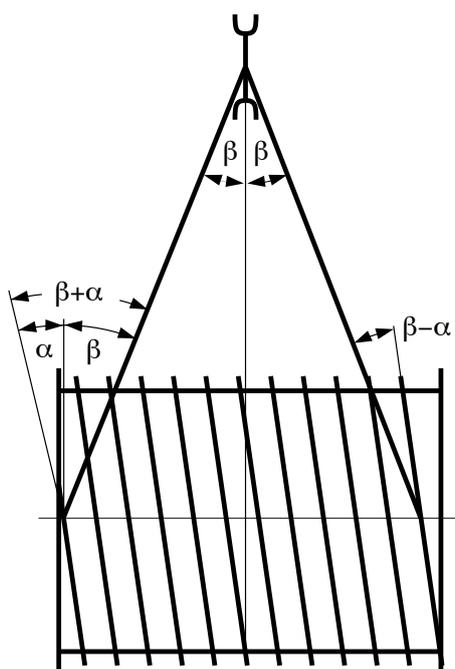


Fig. 45: Réduction des angles par augmentation du diamètre du tambour

Pour une même longueur de câble, le tambour est alors plus étroit, et donc l'angle β plus petit. Cette solution est cependant plus coûteuse car elle conduit à la mise en œuvre de couples plus importants.

L'augmentation du diamètre du tambour n'a pas pour seule conséquence de réduire l'angle β . Il y a également une réduction significative de l'angle α , car le déplacement latéral du câble est réparti sur une plus grande circonférence. Par conséquent, cette solution conduit à une réduction très significative de la valeur de $\beta+\alpha$ (Fig. 45).

Il est également possible d'obtenir d'autres avantages par l'utilisation de tambours spéciaux (par exemple Lebus). Sur ces tambours, pour une grande partie de la circonférence l'angle α est nul, et le changement de spire s'opère sur une distance très courte.

Pour les systèmes multicouches, le câble est alternativement enroulé selon une hélice à droite, puis selon une hélice à gauche. Le respect de la règle du choix du sens de câblage du câble en sens opposé au rainurage du tambour, demanderait un changement de la caractéristique du câble, d'une couche à l'autre. Comme ceci n'est pas possible, le sens de câblage doit être déterminé pour la couche sur laquelle le câble travaille le plus. Pour les tambours multicouches, l'influence du tambour décroît avec le nombre de couches et devient moins importante que celle du mouflage. On peut admettre que dans la plupart des cas, à partir de quatre couches il faut choisir le sens du câble par rapport à celui du mouflage (voir chapitre 13).

15. La torsion des câbles pendant l'installation

Le mauvais montage est une des plus fréquentes causes de rotation des moufles. Lors de l'installation de câbles, et plus particulièrement s'il s'agit de câbles antigiratoires, une attention particulière doit être apportée afin d'assurer que les câbles sont mis en place sans aucune torsion induite. Il faut prendre soin de dérouler le câble en tournant la couronne ou la bobine. En aucun cas le câble ne doit être tiré d'une bobine ou d'une couronne posée sur le sol. En effet, une telle manœuvre introduirait une torsion du câble de un tour pour chaque longueur correspondant à une circonférence de la bobine ou du touret.

Les câbles antigiratoires et semi-antigiratoires sont particulièrement sensibles aux mauvais modes opératoires de mise en place. Ceci est une conséquence des comportements antagonistes entre les torons internes et les torons externes. Même la plus petite rotation peut conduire à une grande différence de longueur entre les parties internes et externes du câble. Plus tard les poulies et tambours accumuleront ces différences en un point du câble, où apparaîtra éventuellement une « cage à oiseaux ». Pour les systèmes utilisant des câbles antigiratoires attachés à un émerillon tournant, la torsion introduite durant la mise en place peut quitter le système.

Les câbles Lang non antigiratoires sont également très sensibles aux torsions induites. Ces câbles ne peuvent pas être utilisés avec des émerillons, c'est pourquoi il faut être très vigilant lors de l'installation.

Pour l'installation de câbles Lang, la rotation des extrémités du câble doit être évitée.

Les câbles avec une couche plastique entre l'âme métallique et les torons externes, dans leur version Lang, sont beaucoup moins sensibles à la torsion pendant le montage que les câbles Lang conventionnels. L'indentation de la couche plastique dans l'âme métallique et dans les torons externes compense la tendance à la rotation du câble, procurant ainsi de bien meilleures conditions d'installation.

L'utilisation de câbles avec âme métallique plastifiée est hautement recommandée dans tous les cas pour lesquels il est difficile de garantir, lors de la mise en place, la sécurisation contre la rotation du câble.

Relativement souvent, et en particulier pour les grandes grues, les nouveaux câbles sont attachés aux anciens, puis tirés par ces derniers le long des poulies du système. Quand l'installation du câble se fait de cette manière, il est vital que la connexion des câbles ne soit pas rigide. Une connexion rigide permettrait en effet à l'ancien câble de transmettre sa torsion au nouveau câble. Dans ce cas le moufle pourrait montrer une tendance à la rotation. En tout état de cause la durée de vie du câble serait réduite.

Les câbles peuvent par exemple être reliés par des chaussettes avec un émerillon intégré, ou bien par au moins deux câblettes qui font office d'éléments de liaison entre les deux extrémités des câbles.

La dernière solution présente l'avantage suivant: il est possible de connaître, après installation du nouveau câble, le nombre de tours emmagasinés par le câble déposé (Fig. 46).

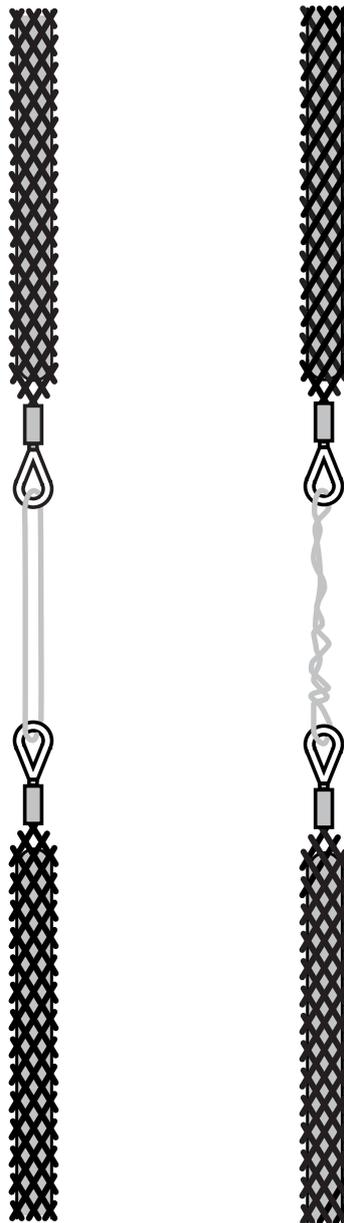


Fig. 46: Connexion de câble par l'intermédiaire de chaussettes, avant (gauche) et après installation (droite).

Dans bien des cas, il est recommandé de peindre, pendant la fabrication, une marque sous la forme d'une ligne droite parallèle à l'axe du câble.

Il sera alors plus facile de détecter une torsion induite lors du montage. Cette torsion pourra, si nécessaire, compensée par une torsion inverse imposée à l'extrémité du câble reliée au point fixe. Ce type d'opération ne doit cependant être conduit que par du personnel hautement qualifié.

16. Pourquoi les câbles non antigiratoires ne doivent-ils pas être utilisés avec un émerillon tournant ?

Si un câble non antigiratoire est attaché par un émerillon tournant, il se détordra naturellement sous charge. La rotation conduira à un important transfert des forces au sein du câble: les torons externes seront déchargés et la partie interne du câble sera surchargée. La force de rupture, et donc le coefficient de sécurité d'un câble non antigiratoire, sont extrêmement réduits si ce dernier est libre en rotation.

Si le câble est déchargé, le brin situé entre l'émerillon et la première poulie pourrait revenir dans son état initial, libre de sollicitation de torsion. Ceci étant, il n'en reste pas moins que plus le câble sera chargé et déchargé, plus il subira de torsions en sens ouverture puis fermeture. Ce mécanisme conduira d'une part à une importante usure des torons internes du câble, et d'autre part à une grande fatigue des fils de ces torons. Ces sollicitations conduisent à des usures et des défauts non détectables depuis l'extérieur du câble. Elles représentent donc un facteur supplémentaire de risque.

Les câbles non antigiratoires, tels que les compositions à six huit ou dix torons, doivent être attachés rigidement avec un blocage en rotation. Ils ne doivent jamais être utilisés avec un émerillon tournant.

17. Pourquoi les câbles semi-antigiratoires de type 17x7, 18x7 et 19x7 ne doivent pas être utilisés avec un émerillon

Comme explicité au chapitre 6, les câbles semi-antigiratoires 17x7, 18x7 et 19x7 perdent plus de 30% de leur charge de rupture lors d'un essai de traction avec une extrémité attachée à un émerillon tournant. Cette réduction du coefficient de sécurité devrait donc à elle seule conduire à prohiber l'utilisation d'un émerillon.

De plus, même sous de faibles chargements, les câbles de ces types ont une considérable tendance à la rotation. Comme expliqué au chapitre 16 pour les câbles 6 et 8 torons, l'utilisation d'un émerillon conduirait donc à des cycles répétitifs de torsion en sens ouverture puis fermeture lors de chaque chargement et déchargement du câble.

Ce phénomène conduirait inévitablement à une dangereuse augmentation de l'usure interne et provoquerait une fatigue prématurée des torons intérieurs. Il faut bien conserver à l'esprit que ces derniers ne sont pas accessibles lors d'un contrôle visuel.

18. Torsion introduite dans le système de levage par la présence d'un émerillon tournant

Tous les arguments énoncés jusqu'ici conduisent à prohiber, pour des raisons de sécurité, l'utilisation de l'émerillon avec les câbles non antigiratoires et semi-antigiratoires. Une autre raison de ne pas utiliser ce type de montage peut être la génération de torsion au sein du système. L'exemple ci-après permet d'illustrer ce phénomène.

Un câble neuf non antigiratoire ou semi-antigiratoire est installé sur un système simple constitué par une poulie et un tambour (Fig. 47). On s'est assuré que le câble n'avait pas subi de torsion lors de sa mise en place. Le câble est relié au crochet par un émerillon.

Lors d'un soulèvement de la charge l'émerillon tournera, la longueur de câble entre la poulie et l'émerillon se détortonnera d'une certaine valeur. Pour notre exemple, nous admettrons que l'émerillon a fait huit tours, représentés par les huit marques sur le câble (Fig. 48). Pour une charge non guidée un phénomène identique se produirait même pour un montage sans émerillon.

Si on lève la charge plus haut, une partie de la longueur de câble détortonnée - pour notre exemple la moitié de celle-ci - passera sur la poulie. A la fin de ce mouvement, la moitié de la rotation introduite par l'émerillon, représentée par quatre points, se trouvera donc entre le tambour et la poulie (Fig. 49). Dans cette portion une partie de câble sollicitée en rotation rencontre une partie non sollicitée.

La partie sollicitée en rotation va transmettre une partie de sa rotation à la zone non encore sollicitée. Les quatre tours seront répartis sur toute la longueur de câble située entre la poulie et le tambour (Fig. 50).

La grue bouge vers une autre position, ou simplement pivote, et redescend la charge. Pendant la descente du crochet, une partie du câble sollicitée en rotation (la moitié pour notre exemple) passera de la zone entre tambour et poulie vers la zone alignée avec l'émerillon.

Dans notre exemple, deux tours quittent la section entre poulie et tambour (Fig. 51) alors que, dans le même temps, du câble non sollicité en rotation est déroulé du tambour vers cette zone. Les deux tours qui restent dans cette zone sont alors répartis dans tout le câble de cette section. Dans le même temps, la partie du câble reliée à l'émerillon retrouve un état sans rotation dès que la charge touche le sol (Fig. 52).

Nous sommes de nouveau dans l'état initial, et la séquence décrite ci-dessus peut être reconduite.

Nous avons débuté avec un câble non sollicité en rotation, et après seulement un mouvement de levage, deux tours ont été introduits dans le câble.

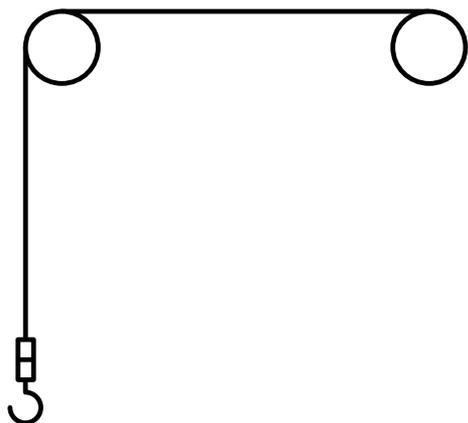


Fig. 47: Avant le décollage de la charge le câble n'est pas sollicité en rotation

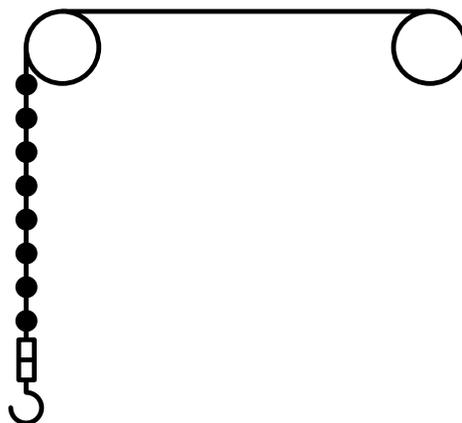


Fig. 48: Dès que la charge est soulevée, l'émerillon effectue huit tours

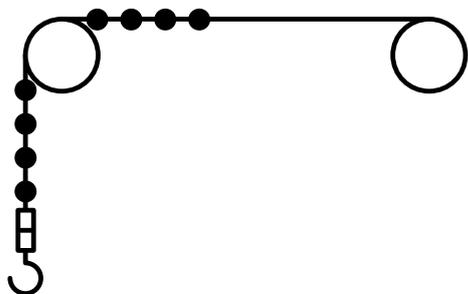


Fig. 49: Pendant le levage de la charge, la moitié du câble sollicité en rotation passe sur la poulie

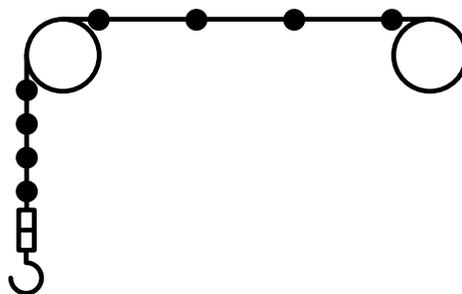


Fig. 50: La torsion se répartit uniformément sur la longueur du câble située entre le tambour et la poulie.

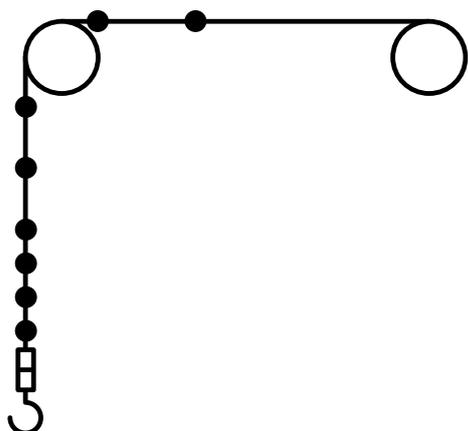


Fig. 51: Une partie du câble sollicitée en torsion repasse sur la poulie

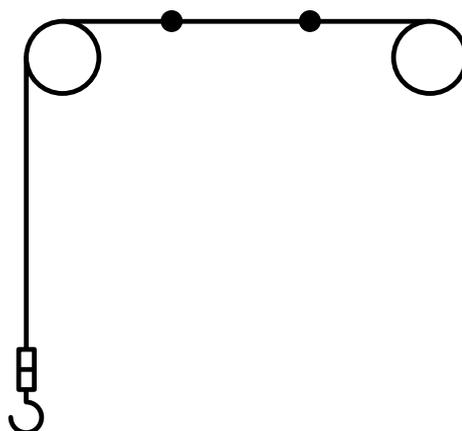


Fig. 52: Après un cycle de levage une sollicitation de torsion correspondant à deux tours reste prisonnière du système

La zone sollicitée en torsion, piégée entre la poulie et le tambour, ne pourra jamais rejoindre l'émerillon pour se libérer de sa contrainte. Au contraire, le nombre de tours emmagasinés ne fera qu'augmenter lors de chaque nouveau levage.

Il est donc faux de croire que la rotation introduite dans le câble par sa mise en tension, sera éliminée lors de son déchargement. Par ce phénomène de répartition une partie de la torsion restera dans le système. Il ne faut pas croire que, si on empoisonne un tonneau de vin avec un verre d'arsenic, on rendra la boisson buvable juste en extrayant un verre du mélange.

L'augmentation de la torsion introduite dans le câble lors des différentes opérations de levage peut conduire à divers types de problèmes. Il est fort probable que cette torsion surcharge certaines parties du câble et conduise donc à leur défaillance prématurée. Le plus souvent, cette rotation génère des variations de longueur des torons des différentes couches constituant le câble. Il en résulte la formation de cage à oiseaux ou de tire-bouchon.

Fig. 53 illustre un exemple de cage à oiseaux sur un tambour.

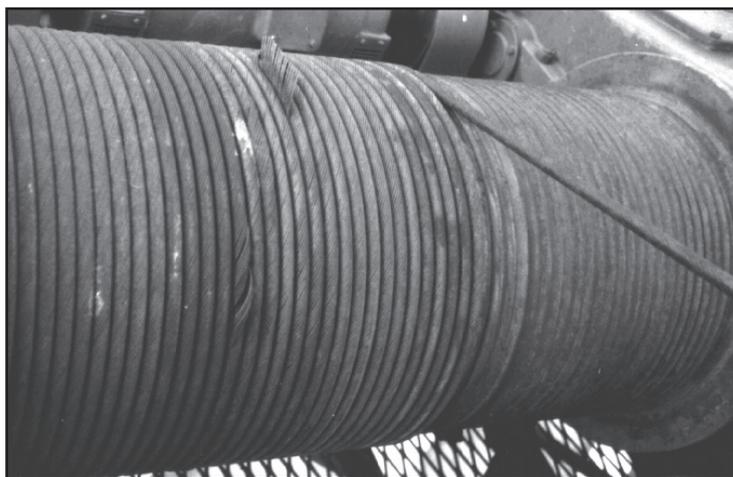


Fig. 53: Cage à oiseaux sur le câble enroulé sur le tambour

Quand un câble sollicité en torsion est brusquement déchargé, une situation très dangereuse peut se produire lors de la formation d'un mou de câble. Dans cette configuration, la partie du câble très fortement contrainte en torsion profite de son déchargement pour faire un vrillage sur elle-même, créant ainsi une boucle (Fig. 54). Quand le câble est de nouveau chargé, la boucle se resserre créant ainsi un nœud. Cet événement, qui peut intervenir en quelques secondes, ne sera donc pas forcément détecté par le conducteur de l'appareil. Il risque pourtant de conduire à la rupture du câble.

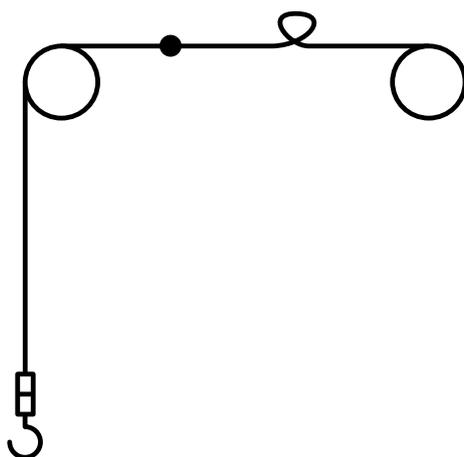


Fig. 54: Formation d'une boucle lors du relâchement du câble

19. Pourquoi les câbles antigiratoires peuvent-ils être équipés d'un émerillon?

Les problèmes que nous avons évoqués ci-dessus n'existent pas lorsque l'on utilise des câbles antigiratoires tels que 35x7, 35xK7 ou 40xK7,. D'une part, la résistance à la rupture n'est pas réduite par l'utilisation d'un émerillon et, d'autre part, ces câbles n'ont pas tendance à la rotation et donc au détournement lors des chargements et déchargements. Ces câbles sont tellement résistants à la rotation que l'émerillon - dans des conditions normales - ne tournera pas lors des variations de chargement. Par conséquent, ces câbles ne subiront pas les problèmes d'usure et de fatigue prématurée que nous avons décrits pour les autres cas évoqués plus haut.

***Les câbles tels que 35x7, 35xK7 ou 40xK7
peuvent être équipés d'un émerillon tournant.***

20. Pourquoi les câbles antigiratoires devraient-ils être équipés d'un émerillon?

Les câbles antigiratoires ne se détournent pas sous l'action d'une charge externe. Nous avons cependant évoqué des cas pour lesquels des

forces externes agissent tangentiellement sur le câble, le sollicitant ainsi à la torsion. Par exemple, un câble attaquant une poulie ou un tambour avec un angle de déflexion subira une rotation forcée lorsqu'il roulera en fond de gorge.

Cette torsion générera un moment très important dans le câble antigiratoire. Si le câble est attaché par un émerillon, la rotation imposée pourra s'échapper, réduisant ainsi - dans un cas idéal jusqu'à zéro - le moment créé dans le câble.

L'utilisation d'un émerillon tournant avec les câbles tels que 35x7, 35xK7 ou 40xK7, n'a pas d'effets négatifs. Si le câble est utilisé comme il le faut, l'émerillon n'est pas indispensable. Si par contre, pour diverses raisons, le câble est forcé en rotation, l'émerillon jouera le rôle d'une valve par laquelle la rotation s'échappera.

Les câbles tels que 35x7, 35xK7 ou 40xK7 devraient être équipés d'un émerillon tournant.

Une solution couramment utilisée consiste en la mise en place d'un émerillon verrouillable. Ce dernier n'est libéré que de temps en temps pour un certain nombre d'opérations afin de permettre au câble de retrouver un état libre de toute rotation.

En résumé nous pouvons établir que l'utilisation d'un émerillon a des effets tout à fait différents selon les types de câbles:

Pour les câbles antigiratoires, l'émerillon n'a que des avantages. Il permet aux sollicitations en rotation introduites de s'échapper.

A l'opposé, pour les câbles non antigiratoires et semi-antigiratoires, l'émerillon n'apporte que des inconvénients. Il réduit la force de rupture, conduit à une accélération des phénomènes de fatigue et permet l'introduction de torsion dans le système de levage.

21. Que faire si, malgré l'utilisation d'un émerillon, de la torsion s'est accumulée dans le câble?

Comme nous l'avons démontré plus haut, chaque enroulement sur un tambour et chaque passage sur une poulie sous un angle de déflexion aura tendance à solliciter le câble en torsion. L'émerillon permettra à une partie de ces sollicitations de s'échapper. Ceci ne sera cependant possible que si les torsions ont la possibilité de passer sur les poulies depuis leur lieu de création jusqu'à l'émerillon. Pour certaines configurations d'exploitation de grues, il arrive qu'une poulie du système ne tourne pas du tout. La torsion générée dans le câble n'a pas la possibilité de traverser cette poulie. Elle n'atteindra donc jamais l'émerillon. Le système de mouflage d'une grue à tour (Fig. 55) peut illustrer ce problème.

Si l'opérateur effectue un grand nombre de mouvements de levage sans déplacement du chariot la poulie A ne tournera pas. En conséquence, la rotation introduite dans le système par le tambour ou par tout autre équipement ne transitera pas au-delà de cette poulie, et ne s'échappera donc jamais via l'émerillon.

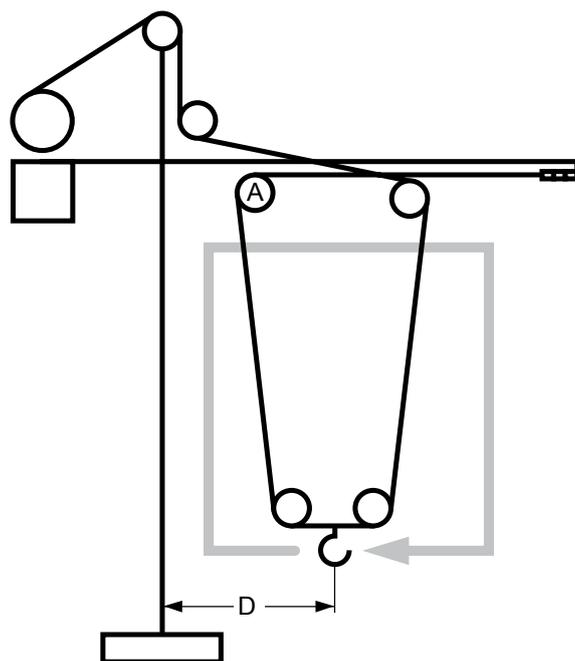


Fig. 55: When lifting and lowering the hook, sheave A does not rotate. Sheave A only rotates if distance D changes

Après un certain temps, la rotation générée dans le câble se traduira par une rotation du crochet, particulièrement si le câble est déchargé. Le fait que cette rotation montre ces effets quand le câble est déchargé indique clairement que le problème n'a pas pour origine le manque de caractéristique antigiratoire du câble, mais au contraire qu'il s'agit des torsions qui se sont accumulées car elles n'arrivaient pas à transiter jusqu'à l'émerillon. Ce problème peut être réglé en faisant passer le câble sollicité en torsion au-delà de la poulie A.

Pour ce faire, il faut que le chariot se déplace plusieurs fois sur toute la longueur de sa voie avec, si nécessaire, des mouvements de levage simultanés. Durant ces opérations, l'émerillon tournera jusqu'à ce que le câble retrouve son état non sollicité en torsion.

Normalement, après plusieurs tours de l'émerillon, la rotation aura disparu. Si ce n'est pas le cas, il faudra alors vérifier si l'émerillon travaille dans de bonnes conditions. L'émerillon doit tourner facilement à la main. Il doit aussi être installé articulé, de façon à être toujours aligné avec l'axe du câble. Ainsi même un câble avec de la flèche pourra faire tourner l'émerillon.

Fig. 56 illustre le cas d'un émerillon monté de façon rigide. Un câble avec beaucoup de flèche ne pourra pas le faire tourner. Fig. 57 illustre le montage correct d'un émerillon articulé.

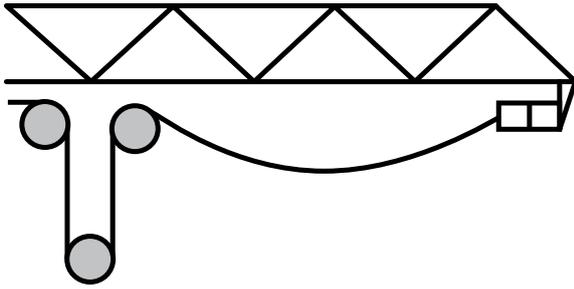


Fig. 56: Fixed swivel with limited working ability

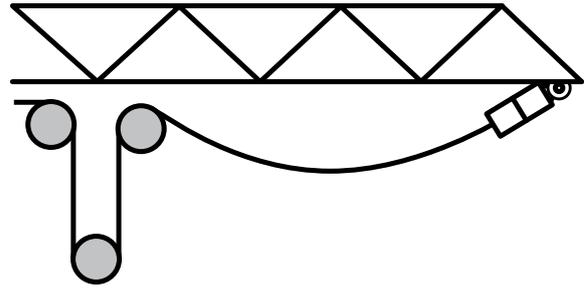


Fig. 57: Hinge-mounted swivel. The swivel is in line with the sagging rope.

L'émerillon doit être monté articulé, de telle sorte qu'il reste toujours dans l'alignement du câble. L'émerillon est un composant du système de levage, et non un composant de la structure.

L'émerillon n'est pas toujours "bien vu", car il réduit la course de levage du crochet. Cet inconvénient peut être éliminé par l'utilisation d'un émerillon intégré à l'attache du câble. Ce genre d'attache est moins encombrant que la combinaison d'une attache conventionnelle avec un émerillon. De plus avec une telle attache le câble est forcément toujours aligné avec l'émerillon.

Fig. 58 montre un émerillon intégré à une boîte à coins.

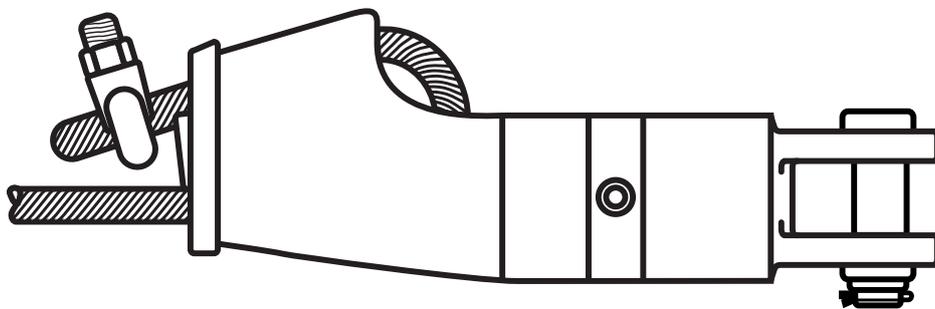


Fig. 58: Wedge socket with a built-in swivel

22. Comment attacher les câbles de bennes preneuses

Les grues avec benne preneuse à quatre câbles fonctionnent avec deux câbles de suspension et deux câbles de fermeture (Fig. 59). Afin de prévenir la rotation sous charge de la benne, la paire de câbles de suspension, tout comme la paire de câbles de fermeture, est constituée avec un câble droit et un câble gauche.

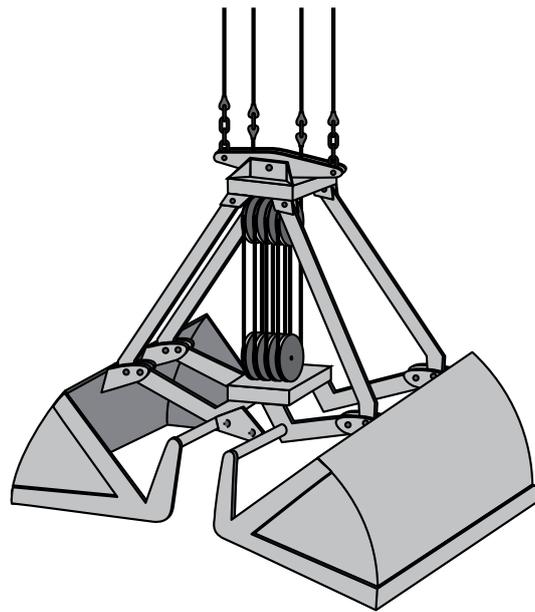


Fig. 59: Benne preneuse à quatre câbles

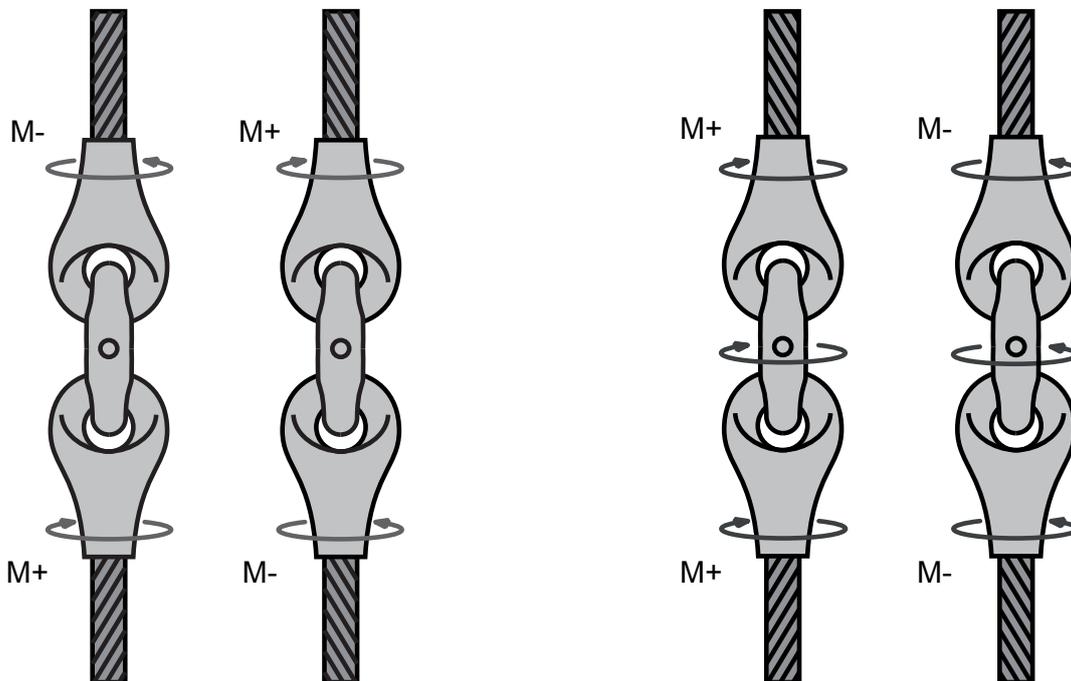


Fig. 60: Connexion de câbles - montage correct

Fig. 61: Connexion de câbles - mauvais montage, les câbles se détortonnent mutuellement

Au niveau de la connexion entre les câbles de fermeture et les câbles de benne, il faut prendre garde à bien relier le câble de fermeture câblé à gauche avec le câble de benne câblé à gauche, et de la même manière le câble de fermeture câblé à droite avec le câble de benne câblé à droite (Fig. 60). Si un câble de benne câblé à gauche était connecté à un câble de fermeture câblé à droite, les deux câbles auraient tendance à faire tourner l'attache dans la même direction: les câbles se détordraient mutuellement sous l'action d'un chargement (Fig. 61). D'une part ceci réduirait considérablement la force de rupture des câbles, et d'autre part la perturbation de la géométrie du câble pourrait créer des déformations telles que tire-bouchon ou cage à oiseaux. De plus les nombreuses ouvertures et fermetures du câble conduiraient à une fatigue en torsion au niveau des attaches terminales.

Il y a également le risque que le câble de benne se déforme lorsqu'il est déchargé, permettant ainsi à du charbon ou à de la poussière de pénétrer à l'intérieur du câble. Lors du chargement suivant, le câble se fermera de nouveau sur un diamètre qui sera augmenté. Il n'est donc pas certain qu'il puisse passer sur les poulies comme il le devrait. Il y a donc le risque que lors des futures utilisations la benne ne s'ouvre pas automatiquement, ou que le câble se coince au passage des poulies.

Un danger de même nature se présente lorsque les câbles ont la même direction de câblage, mais des compositions différentes ou même des diamètres différents (Fig. 62). Les moments ont bien entendu des effets inverses, mais leurs intensités sont différentes.

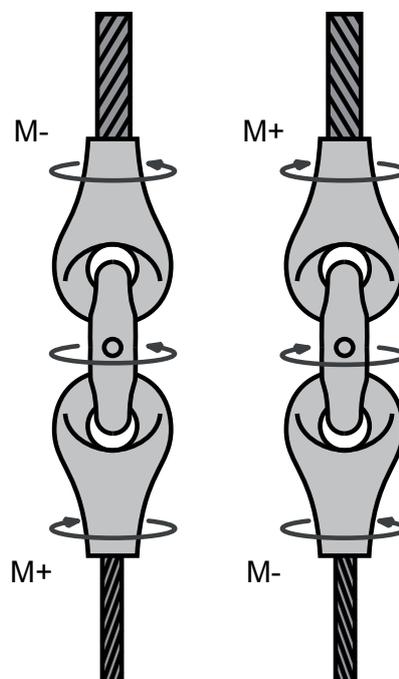


Fig. 62: Connexion de câbles de même direction de câblage, mais de diamètres différents

Le câble avec le plus grand moment (pour le cas où les câbles ont des diamètres différents, ce sera normalement le plus gros) se détordra sous l'action de la charge et, par conséquent, sollicitera à la torsion en sens fermeture le câble avec le plus petit moment (généralement le plus petit).

Malheureusement, la connexion de câbles de diamètres différents ne peut pas toujours être évitée. De nombreuses grues fonctionnent avec des bennes de différentes capacités afin de pouvoir décharger des bateaux de différentes tailles. Généralement, les bennes sont munies de câbles de fermeture de diamètres correspondant à leur capacité, donc différents d'une benne à l'autre.

Parfois ces grues à quatre câbles travaillent également sans benne. Dans de telles configurations les quatre câbles devraient être reliés par un système d'équilibrage. Comme les treuils de levage et de fermeture fonctionnent indépendamment l'un de l'autre, il faut relier entre eux les câbles de suspension, et de la même manière relier entre eux les câbles de fermeture. Cette connexion est souvent réalisée par un morceau de câble-câble d'équilibrage - qui passe dans le moufle du crochet (Fig. 63).

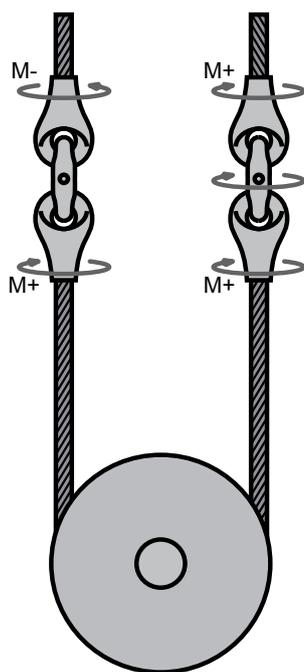


Fig. 63: Connexion de deux câbles de direction de câblage opposée, non sécurisée contre la rotation

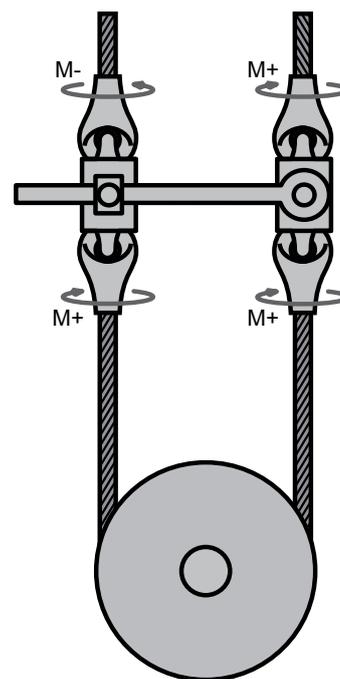


Fig. 64: Connexion de deux câbles de direction de câblage opposée, sécurisée contre la rotation

La direction de câblage de ce câble d'équilibrage ne peut naturellement correspondre qu'à la direction de câblage d'un seul des deux câbles auxquels il est attaché. L'autre câble aura inévitablement la mauvaise direction, et par conséquent les câbles auront toujours tendance à se déstructurer mutuellement.

Un câble d'équilibrage de type antigiratoire ou semi-antigiratoire se comporterait guère mieux. En effet la différence de moment entre les câbles au niveau de chaque connexion sera plus faible qu'avec un câble d'équilibrage non antigiratoire, mais elle existera sur chacune des deux connexions.

Des connexions de ce type peuvent seulement être utilisées si leur rotation autour de leur propre axe est sécurisée par l'intermédiaire d'un système spécifique. Fig. 64 illustre une solution possible: une traverse empêche la rotation des attaches.

En cas de mouvement d'équilibrage la distance entre les attaches évolue. La traverse ne doit donc pas être fixée de façon rigide sur ses deux extrémités. Un ajustement glissant sur un des côtés permettra le glissement des attaches nécessaire au bon fonctionnement.

23. Premiers soins

Si un moufle de grue tourne, il faut dans un premier temps vérifier si le phénomène se produit sous charge, ou seulement quand le câble est déchargé (Fig. 65). Sauf pour quelques rares exceptions, la règle suivante s'applique:

Si le moufle tourne sous charge, il y a un problème avec le câble.

Dans ce cas le câble n'est pas suffisamment antigiratoire. Sauf pour quelques rares exceptions, la règle suivante s'applique

Si le moufle tourne alors que le câble n'est pas chargé, il y a un problème avec la grue.

Le câble a été sollicité en torsion par des composants de la grue, et il cherche maintenant à faire tourner le moufle pour retrouver son état d'équilibre.

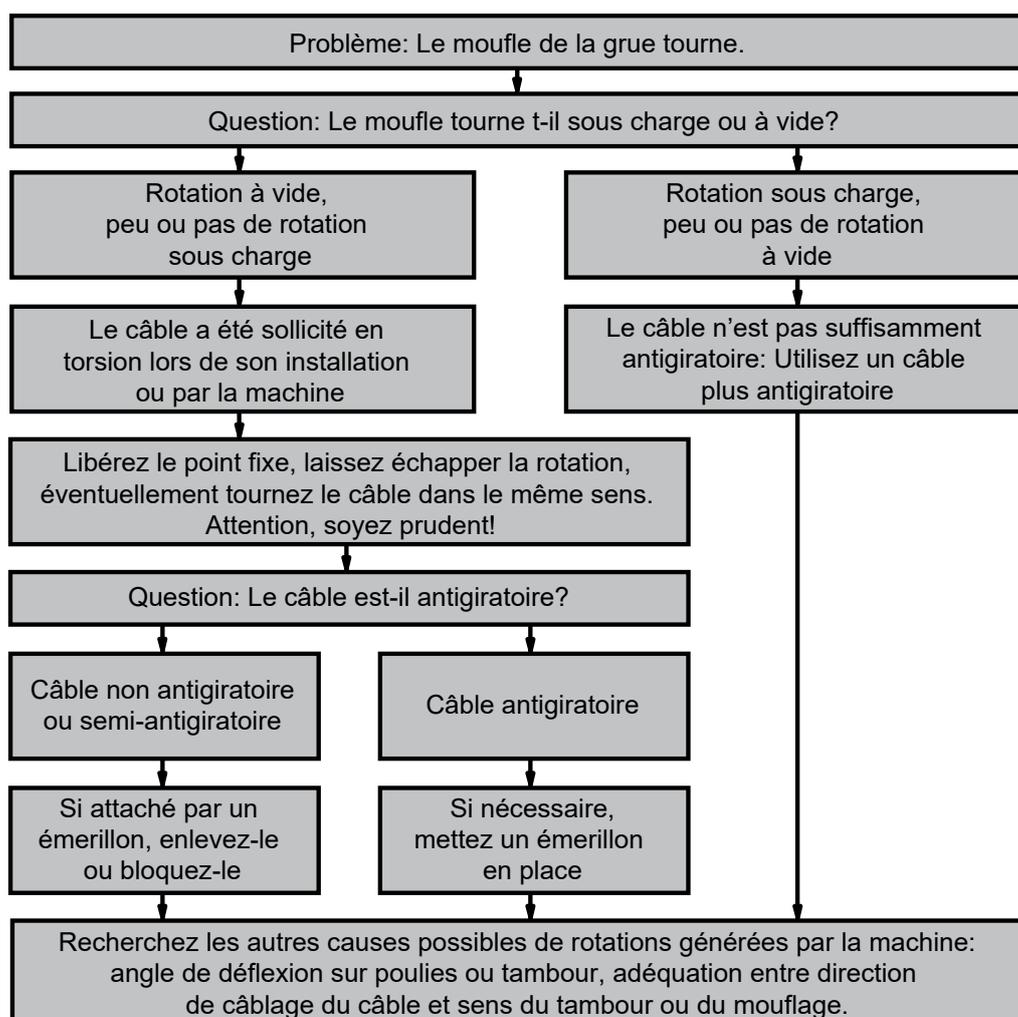


Fig. 65: Que faire si le moufle tourne ?

24. Remarques

Les phénomènes de rotation des câbles sont très complexes. Cette brochure, sans être exhaustive, présente une analyse des points les plus fondamentaux.

Les informations présentées dans ce document sont données à titre informatif. Leur utilisation sera faite sous la responsabilité du lecteur.

Les auteurs attirent l'attention du lecteur sur le fait que les caractéristiques d'un type de câble peuvent varier de façon significative d'un fabricant à l'autre, elles peuvent donc être différentes de celles présentées dans ce document.

Pour toutes précisions relatives à un problème spécifique qui ne serait pas traité, n'hésitez pas à contacter les auteurs

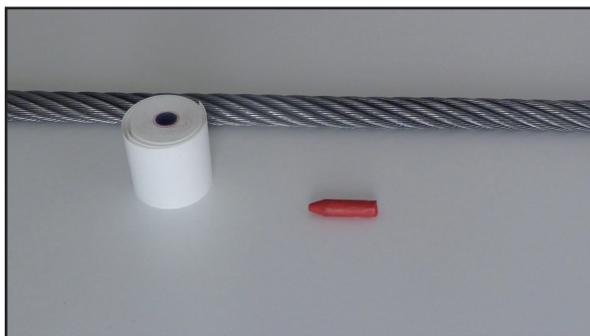
Dipl.-Ing. Roland Verreet
Ingenieurbüro für Fördertechnik
Wire Rope Technology Aachen
Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen
Tel.: +49 241 173147
E-mail: R.Verreet@t-online.de
www.ropetechnology.com

Jean-Marc Teissier
DEP Engineering
13 rue du Béal
F-38400 Saint Martin d'Hères
Tel.: +33 4 76 62 84 54
E-mail : jmteissier@dep-engineering.fr
www.dep-engineering.fr



„A l’avenir je n’utiliserai que des câbles antigiratoires!“

Annexe A: Comment mesurer le pas de câblage



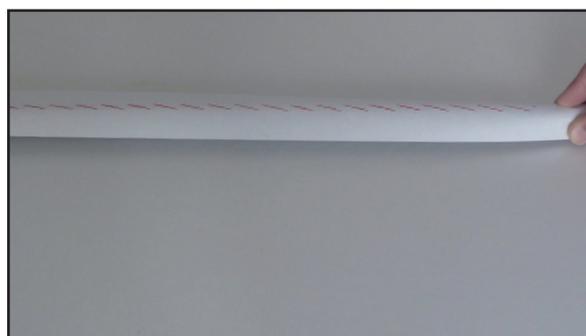
Pour mesurer le pas de câblage, il suffit d'un ruban de papier et d'une craie grasse.



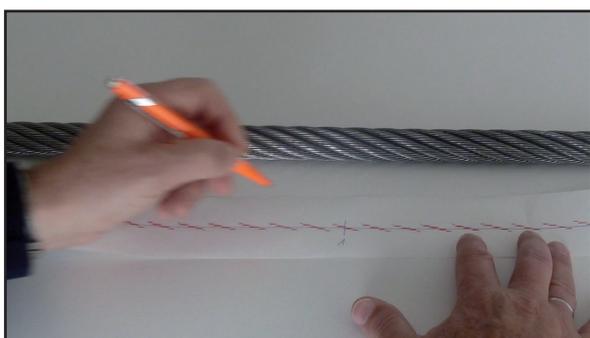
Placer le ruban de papier sur le câble, orienté selon l'axe du câble, et le replier afin de le stabiliser.



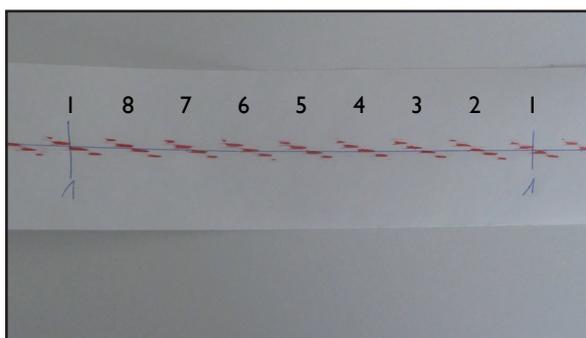
Maintenir le papier avec une main, créer l'empreinte du câble sur le papier en déplaçant la craie avec l'autre main.



Traces de l'empreinte du câble laissée sur le papier.



Repérage des torons sur l'empreinte



Empreinte d'un câble 8 torons.
Numérotation des torons de 1 à 8, en commençant à 1 après le 8^{ème}. Le pas de câble est la longueur entre les deux repères 1.

Pour être plus précis on effectue la mesure sur plusieurs pas de câblage (par exemple 3) et on divise le résultat par le nombre de pas de câblage.

Wire Rope Technology Aachen

Dipl.-Ing. Roland Verreet

Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen • Germany

Phone: +49 241- 173147 • Fax: +49 241- 12982

Mail: R.Verreet@t-online.de

www.ropetechnology.com