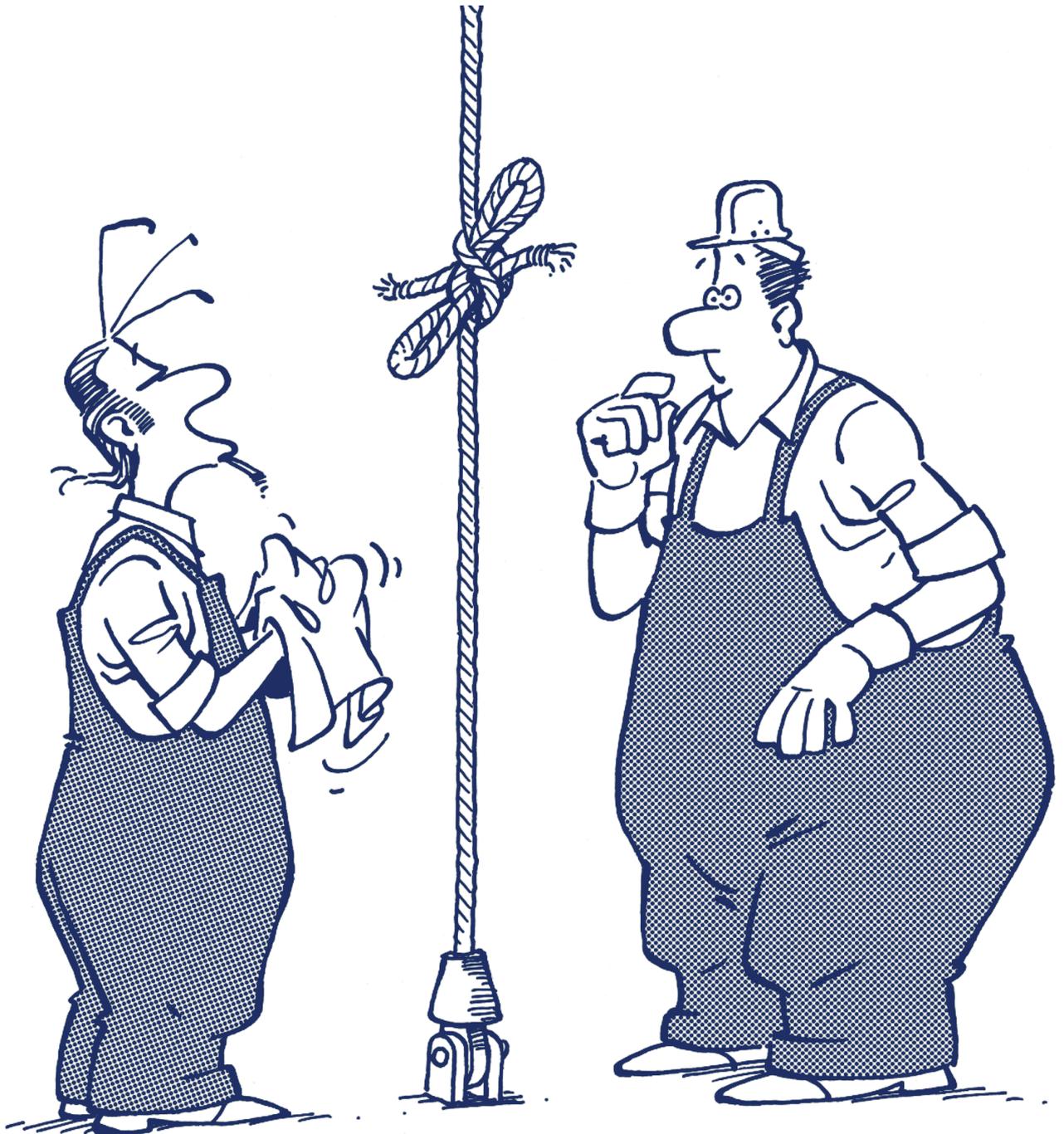


WIRE ROPE

TECHNOLOGY AACHEN



Attaches terminales des câbles métalliques

Attaches terminales des câbles métalliques

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

Table des matières

1. Introduction	4
2. Classification	5
3. Les serre-câbles.....	6
4. La boîte à coin asymétrique.....	13
5. La boîte à coin symétrique.....	23
6. L'épissure	25
7. Le manchonnage aluminium.....	31
8. "The Flemish Eye" / L'Œil Flamand	43
9. La douille à sertir.....	47
10. Le culot métallique	53
11. Le culot à la résine.....	72
12. Culot hybride	76
13. Parlons de prix.....	82

© 1996, 2003, 2012, 2020 Ingenieurbüro für Drahtseiltechnik Wire Rope Technology Aachen GmbH

Titre et caricatures: Rolf Bunse

Composition et mise en page: Benedikt Dolzer, Aachen

Réimpression, en tout ou partie, uniquement avec l'autorisation des auteurs.

1. Introduction

Un câble métallique est un composant très sollicité. La charge est transmise au câble par l'intermédiaire des attaches terminales. Les exigences requises pour ces équipements sont les suivantes: l'attache doit être capable de transmettre d'importantes charges statiques et dynamiques. De plus elle doit souvent pouvoir supporter des températures élevées. Elle doit aussi être capable de pivoter librement dans une ou deux directions autour de son ancrage. Elle doit également être facilement attachable et détachable, notamment pour les contrôles et pour les modifications du moufflage des grues (par exemple en cas de passage de 4 à 2 brins). L'attache terminale devrait aussi être compacte, légère et, ce qui est aussi important, être d'un prix raisonnable. Malheureusement, il n'existe pas d'attaches qui respectent pleinement tous ces critères. Il y en a cependant un bon nombre qui répondent au moins à certains d'entre eux.

Cette brochure montre la variété des différents types d'attaches terminales, et donne quelques conseils relatifs à leurs confection, mise en place et contrôle. Nous espérons fournir aide et assistance aux concepteurs et aux utilisateurs de grues, équipements et structures architecturales pour sélectionner la terminaison de câble la mieux appropriée pour leurs applications respectives.

Les auteurs font références à des textes normatifs. Il est vivement recommandé au lecteur de s'assurer que ces textes sont toujours en vigueur. Il est également conseillé de les lire dans leur intégralité.

Si vous avez des problèmes spécifiques, ou des interrogations qui ne sont pas traitées dans cette brochure contactez les auteurs de cette publication s'il vous plait:

Dipl.- Ing. Roland Verreet
Ingenieurbüro für Fördertechnik
Grünenthaler Str. 40a
D-52072 Aachen - Allemagne
Tel.: +49 - 241 - 173147
Fax: +49 - 241 - 12982
E-Mail: R.Verreet@t-online.de

Jean Marc Teissier
DEP engineering
13 rue du Béal
38400 Saint Martin d'Hères - France
Tel.: +33 - 476 - 62 84 54
Fax: +33 - 476 - 24 62 24
E-Mail: jmteissier@dep-engineering.fr

Nous ferons tout notre possible pour vous aider.

2. Classification

Tous les types de terminaison de câbles utilisent le frottement. Nous identifions cependant plusieurs catégories d'attaches.

Une première catégorie utilise le frottement et en plus bénéficie d'un apport extérieur de matériaux, comme par exemple le culot métallique.

Une seconde catégorie utilise à la fois le frottement et un blocage mécanique, comme par exemple le manchonnage aluminium, qui n'est pas démontable, ou la boîte à coin et les serre-câbles qui eux sont démontables.

Fig. 1 illustre cette classification des différents types d'attaches terminales.

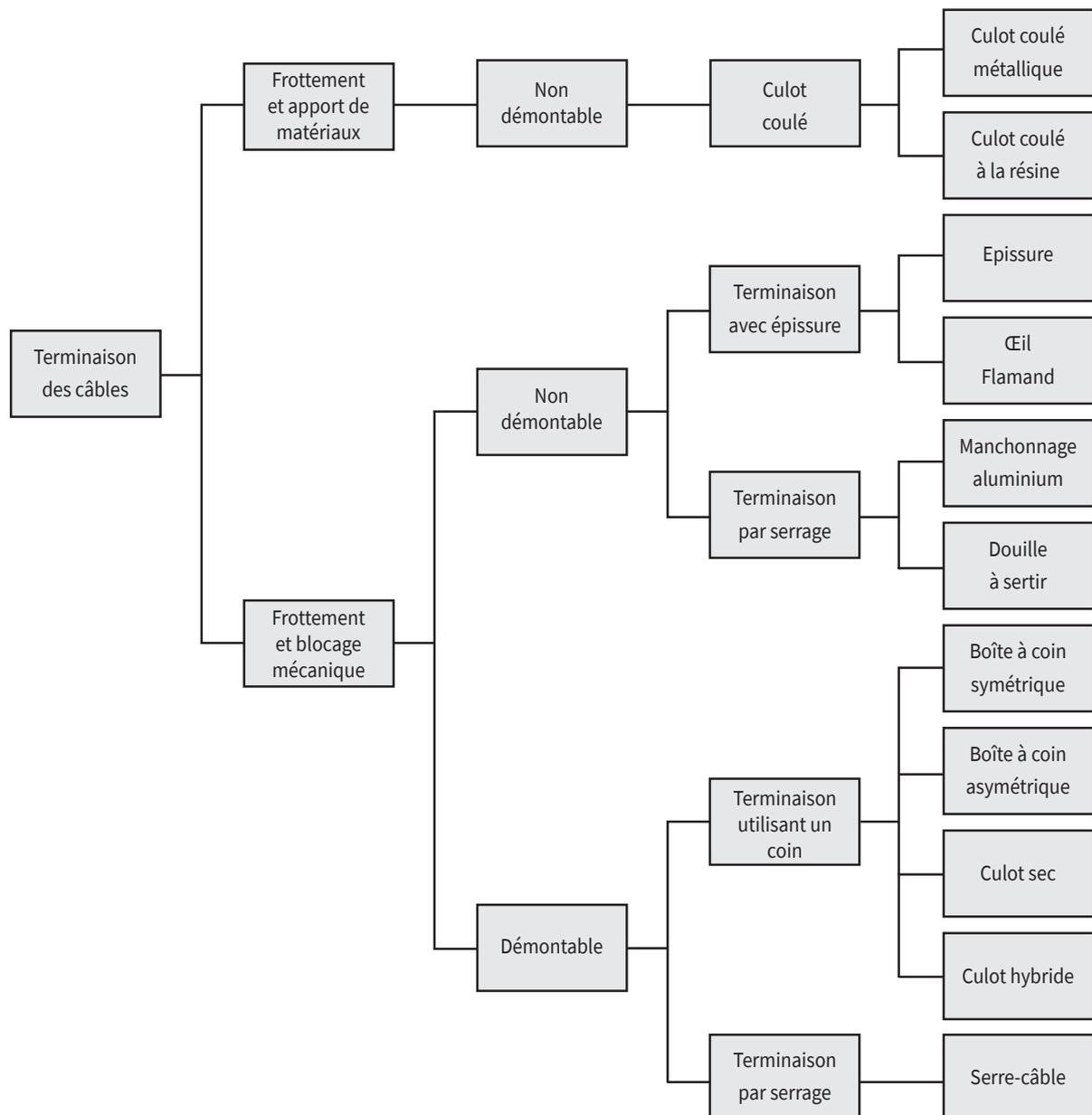


Fig. 1: La classification des attaches terminales

3. Les serre-câbles

Les terminaisons utilisant des serre-câbles (Fig. 2) sont très populaires car d'une part elles peuvent facilement être réalisées sur place, et d'autre part elles sont très économiques. Contrairement à beaucoup d'autres types d'attaches, elles sont facilement démontables et peuvent donc être inspectées sans difficulté.

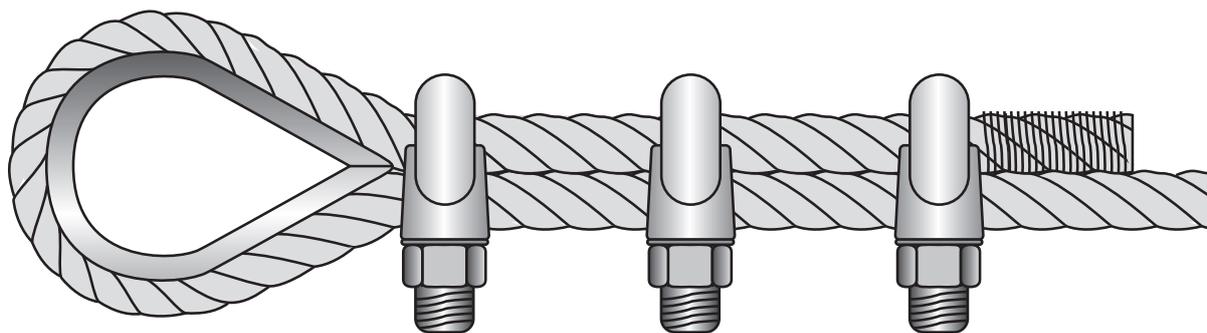


Fig. 2: Terminaison utilisant des serre-câbles

Les serre-câbles selon EN 13411-5 (Fig. 3) ne doivent pas être utilisés comme terminaison de câble pour les accessoires de levage. Une exception est faite pour ces composants lorsqu'ils sont conçus et utilisés à usage unique pour une opération particulière. Pour les appareils de levage, les serre-câbles ne doivent en aucun cas être utilisés sur les câbles d'extraction dans les mines et sur les appareils en milieu sidérurgique. Ils sont également interdits en tant qu'attache permanente pour les systèmes à câbles conçus selon DIN 15020 partie 1.

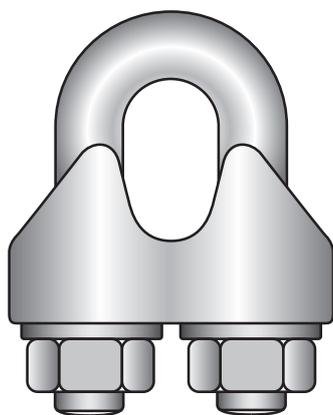


Fig. 3: Serre-câble normalisé selon EN 13411-5

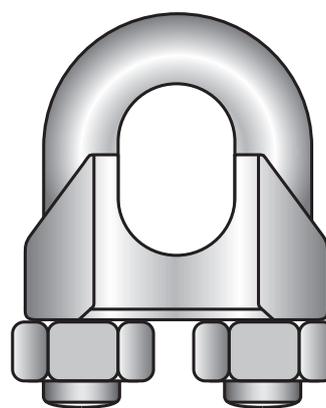


Fig. 4: Serre-câble normalisé selon DIN 741

3.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitations en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique, une attache avec des serre-câbles supportera environ 90% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction, l'attache avec des serre-câbles ne résistera qu'à environ 50% des cycles qu'aurait supportés une attache avec culot métallique (voir annexe A).

3.2. Normalisation

Les serre-câbles pour les attaches démontables sont normalisés selon EN 13411-5 . La DIN 741, qui définissait des serre-câbles plus légers utilisant des écrous simples a été annulée en 1982 (Fig. 4).

Un serre-câble se compose d'une mâchoire qui, de par sa forme, est également appelée sabot, d'un étrier fileté à ses extrémités et deux écrous à embase (Fig. 3). Les serre-câbles sont identifiés par un chiffre correspondant au plus gros diamètre de câble pour lequel ils sont conçus. Par exemple un serre-câble pour des câbles allant de 20 à 22 mm sera identifié de la façon suivante: EN 13411-5 - S 22. Ses éléments seront identifiés de la façon suivante:

Sabot: EN 13411-5 - SB22, étrier fileté EN 13411-5 - SA22, et les écrous à embase EN 13411-5 - SC M16

3.3. Mode de fonctionnement

Le serre-câble presse le brin tendu sur le brin "mort", permettant ainsi un transfert de charge entre ces deux brins de câble à la fois par frottement et par effet de forme (indentation).

S'ils sont montés correctement, les serre-câbles se répartissent équitablement la charge. Ainsi la même quantité d'effort est transférée du brin tendu vers le brin "mort", au niveau de chaque serre-câble. Si par exemple cinq serre-câbles sont utilisés, environ 10% de la force de traction sera transférée au niveau de chacun des serre-câbles. Devant les serre-câbles le brin tendu supporte 100%. Au niveau de chacun des serre-câbles 10% de la charge est transférée sur le brin "mort". Ainsi, au niveau de la cosse cœur, la force aura été réduite d'exactly 50% (Fig. 5).

De l'autre côté, le brin mou qui est complètement déchargé à son extrémité, reprend 10% de la charge au niveau de chaque serre-câble, et supporte donc, au niveau de la cosse cœur, un effort correspondant à également 50% de la charge.

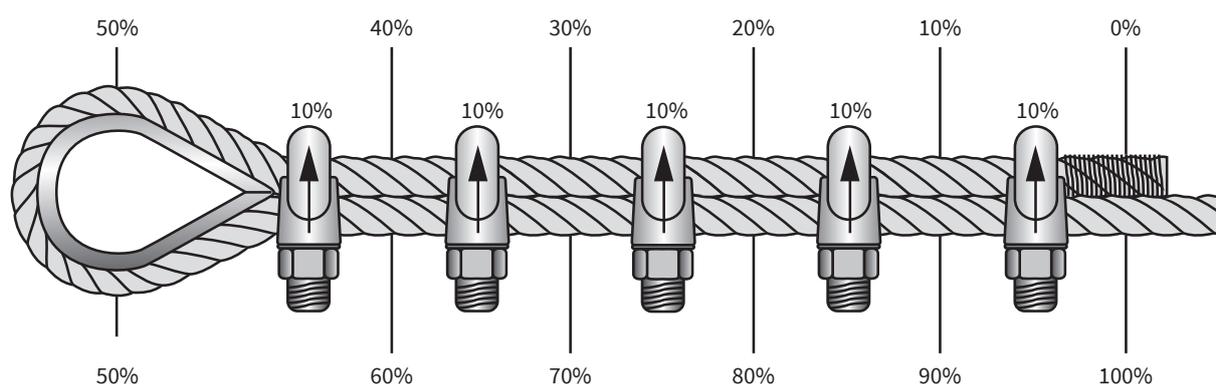


Fig. 5: La répartition des efforts au sein d'une terminaison par serre-câbles

3.4. Confection de l'attache / Mise en place

Les serre-câbles utilisés en tant qu'attache terminale sont installés de la façon suivante. Premièrement, les filets de l'étrier et les écrous sont lubrifiés afin de garantir un serrage sans frottement. Le câble est enroulé autour de la cosse cœur, et le premier serre-câble est positionné au plus près de cette cosse. Il n'est que légèrement serré à la main. Pour un montage sans cosse cœur, la longueur de câble enfermée dans la boucle par le premier serre-câble doit être d'au moins environ six fois le diamètre de l'axe de fixation, et en tout état de cause d'au moins trente fois le diamètre du câble.

Le sabot s'adapte bien sur la surface du câble, alors que l'étrier avec sa forme ronde, exerce un effort pratiquement ponctuel sur le câble. L'étrier réduit ainsi considérablement la charge de rupture du câble au niveau de la zone de contact.

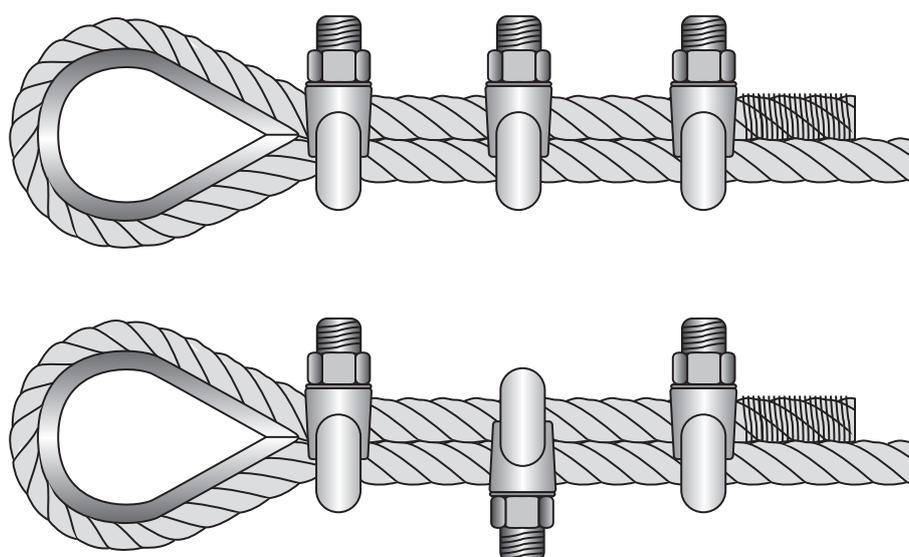


Fig. 6: Terminaison réalisée avec des serre-câbles mal montés

Il est par conséquent très important de s'assurer que l'étrier est monté sur le brin „mort“, c.a.d. le brin avec le moins de charge, et que le sabot est monté sur le brin tendu, c.a.d. le brin qui supporte la plus forte charge.

Beaucoup d'utilisateurs de serre-câbles ne savent manifestement pas sur quel brin mettre en place le sabot, et sur quel brin monter l'étrier. Deux fois sur trois le montage est incorrect (Fig. 6).

La place du sabot est sur le brin tendu, et pas sur le brin „mort“:

Ne mettez jamais de sabot sur un cheval mort!

Selon le diamètre du câble, de deux à cinq serre-câbles supplémentaires seront installés, respectant un écartement d'au moins la largeur du serre-câble (voir Fig. 2 et Fig. 3). Trois serre-câbles seront installés pour des diamètres de câble allant jusqu'à 6,5 mm, quatre serre-câbles jusqu'à 19 mm, cinq serre-câbles jusqu'à 26 mm, et six serre-câbles jusqu'à 40 mm.

Après avoir mis en place manuellement tous les serre-câbles, ils sont serrés à l'aide d'une clef dynamométrique en commençant par le plus éloigné de la cosse cœur. Après avoir serré ce premier serre-câble l'attache devrait, si possible, être légèrement chargée avant de procéder au serrage des autres serre-câbles.

Diamètre nominal	Couple de serrage [Nm]	Nombre de serre-câbles nécessaires [-]
5	2,0	3
6,5	3,5	3
8	6,0	4
10	9,0	4
13	33	4
16	49	4
19	67,7	4
22	107	5
26	147	5
30	212	6
34	296	6
40	363	6

Fig. 7: Couple de serrage des serre-câbles selon EN 13411-5

Les couples de serrage à mettre en œuvre sont indiqués dans le tableau Fig. 7. Pour des câbles de plus grand diamètre, les couples de serrage peuvent être estimés en utilisant la formule suivante:

$$\text{Couple de serrage [Nm]} = 0,22 \cdot (\text{diamètre du câble [mm]})^2$$

Le diamètre du câble se réduit systématiquement sous l'effet des forces de traction. Le couple de serrage des écrous doit par conséquent être vérifié, non seulement après les premiers chargements, mais également périodiquement. Les écrous à embase seront resserrés si nécessaire. Fig. 8 montre une terminaison qui n'a pas été réalisée correctement, et dont les serre-câbles n'ont pas été serrés à la clef dynamométrique. La rotation de la cosse montre clairement que le câble a glissé dans les serre-câbles. Aussi surprenant que cela puisse paraître cette photo n'est pas un montage, mais il s'agit de l'ancrage des haubans de stabilisation de la voie d'un " roller coaster " dans un grand parc d'attraction !



Fig. 8: Terminaison réalisée avec des serre-câbles mal montés

Il est de pratique courante aux USA d'utiliser un serre-câble supplémentaire par rapport aux préconisations indiquées ci-dessus. Ce serre-câble reliera le brin tendu au brin „mort“, mais avec une légère flèche de ce dernier brin (Fig. 9). Si cette attache glisse, l'extrémité brin „mort“ s'alignera sur le brin tendu, ce qui sera très facile à détecter (Fig. 10).

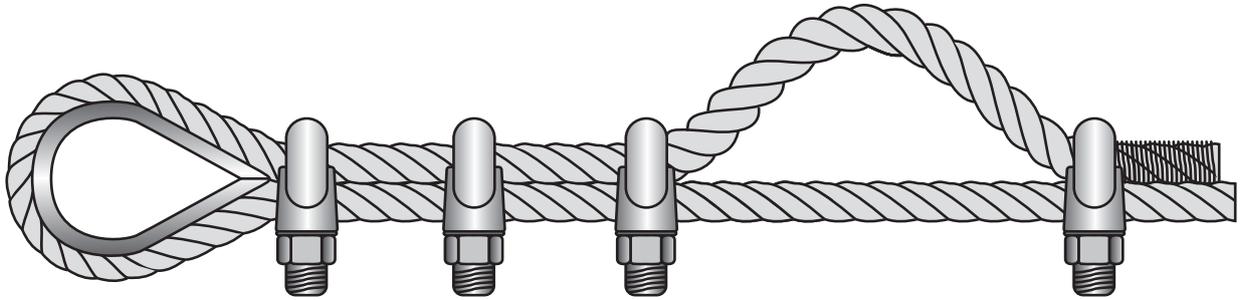


Fig. 9: Le brin "mort" forme une boucle – le câble n'a pas glissé

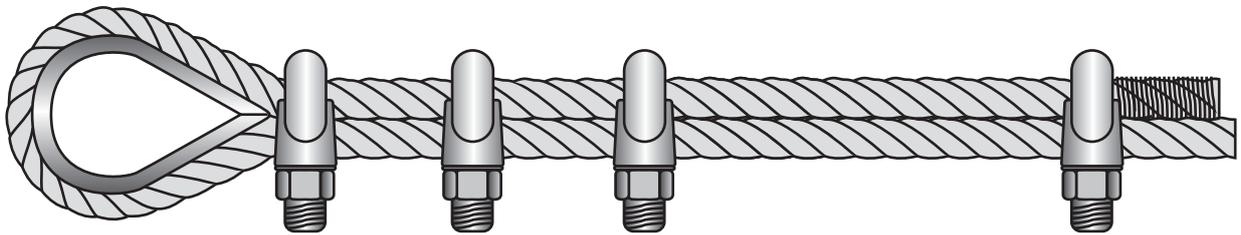


Fig. 10: Le brin "mort" est droit – le câble a glissé

Même si le problème n'est pas vu, le serre-câble supplémentaire n'aura pas été installé en vain. Il participera alors à la prise en charge de l'effort, et permettra peut-être d'éviter d'autres glissements.

3.5. Contrôle

Lors de l'inspection d'une attache par serre-câbles, le serrage des écrous doit être contrôlé avec une clef dynamométrique. Les écrous seront resserrés si nécessaire. En suite les zones visibles de câbles, et plus particulièrement celles entre les serre-câbles, seront inspectées visuellement, afin de détecter la présence de fils cassés ou de corrosion.

Les ruptures de fils peuvent survenir à proximité des serre-câbles, au niveau des zones de contact entre les deux brins. Ceci est particulièrement vrai pour les câbles subissant de grandes variations de charge. Si des ruptures de fils sont suspectées, les serre-câbles doivent alors être complètement démontés, et le câble doit être inspecté méticuleusement.

Si le câble ne peut pas être déchargé, et par conséquent les serre-câbles ne peuvent pas être démontés, plusieurs autres serre-câbles doivent être mis en place. Il sera alors possible de démonter un ou deux des serre-câbles d'origine, et d'inspecter les zones de câble correspondantes.

3.6. Exécutions spéciales

Un type de serre-câble particulier est utilisé pour les applications minières (Fig. 11).

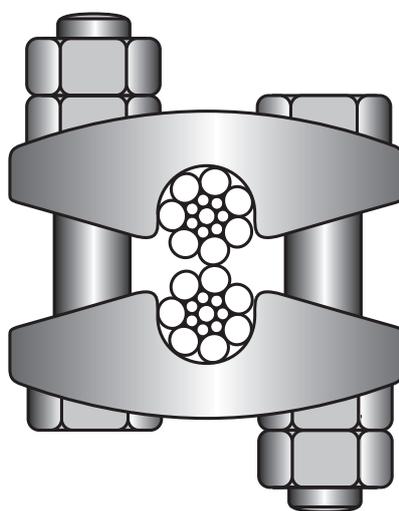


Fig. 11: Serre-câble pour applications minières

Par comparaison avec le serre-câble usuel, celui-ci a l'avantage de disposer de deux moitiés ayant la même forme, qui ne peuvent donc pas être interverties lors du montage. Dans ce cas, aussi bien le brin tendu que le brin "mort" sont serrés sur un sabot. Fig. 12 montre l'attache terminale d'un câble de levage d'un excavateur à roue à godets réalisé avec des serre-câbles de type mines. Il existe une nouvelle variante de serre-câble, brevetée aux USA, nommée "Piggy-Back Wedge Socket Clip". Ce serre-câble ressemble à un serre-câble standard, sauf par le fait qu'il dispose de deux sabots au lieu d'un seul. Ces deux sabots sont installés avec un étrier plus long. L'utilisation du "Piggy-Back Wedge Socket Clip" sera expliquée au chapitre 4.6.



Fig. 12: Terminaison réalisée avec des serre-câbles pour application minière

4. La boîte à coin asymétrique

L'utilisation de boîtes à coin asymétriques (Fig. 13) est très courante pour la fixation des câbles de levage des grues mobiles. Les boîtes à coin peuvent facilement être mises en place sur site, et sont également facilement démontables, ce qui est un grand avantage si le nombre de brins du mouflage est changé fréquemment.

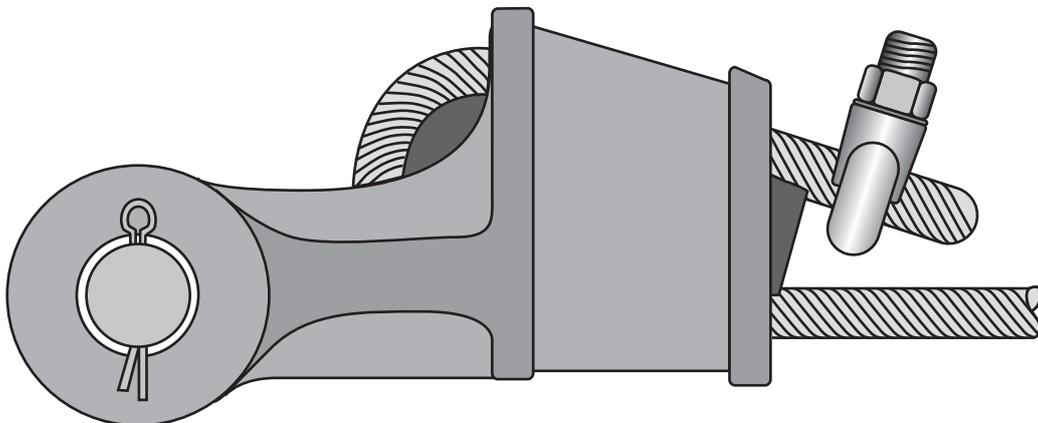


Fig. 13: Boîte à coin asymétrique

4.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitations en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique l'attache avec une boîte à coin asymétrique supportera - en fonction de la géométrie de la boîte à coin - entre 80% et 95% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ces attaches ne résisteront - en moyenne - qu'à environ 50% des cycles qu'aurait supportés une attache par culot métallique (voir annexe A).

Les boîtes à coin asymétriques peuvent être réutilisées après la dépose du câble. Elles doivent par conséquent largement supporter sans dommage un tel essai de fatigue jusqu'à la rupture du câble.

4.2. Normalisation

Seules les exigences minimales pour une boîte à coin asymétrique sont spécifiées dans la norme EN 13411-6. Ainsi on en trouve un grand nombre de formes et d'exécutions sur le marché. Selon cette norme la longueur de serrage entre le corps de la boîte et le coin doit être d'au moins 4,3 fois le diamètre nominal du câble. La différence entre l'angle du corps de la boîte et l'angle du coin ne doit pas être supérieure à 2°. Un angle de corps de boîte de 14° +/- 0,5° et un angle du coin en fond de gorge de 14° +0° -2° sont des valeurs recommandées. Dans une autre exécution les angles sont de 15° +/- 1°. La justification à la fatigue s'opère sur une machine de traction en réalisant 75.000 cycles entre 15% et 30% de la charge de rupture minimum du câble, sans l'apparition de fissures.

4.3. Mode de fonctionnement

L'extrémité du câble est coincée entre le coin et le corps de la boîte. Si la charge augmente, le coin est enfoncé de plus en plus dans le corps de la boîte. Il exerce donc une force de serrage perpendiculaire à l'axe du câble de plus en plus importante.

La traction du câble est transférée par frottement d'une part entre le câble et le coin, et d'autre part entre le câble et le corps de la boîte à coin. Fig. 14 montre une vue en coupe de l'intérieur d'une boîte à coin asymétrique.

4.4. Confection de l'attache / Mise en place

Lors de l'installation d'une boîte à coin, l'extrémité du câble est d'abord passée au travers de la partie creuse du corps de l'attache, puis une boucle de câble est constituée en refaisant passer l'extrémité du câble dans le corps de l'attache. Ensuite le coin est mis en place à l'intérieur de la boucle. L'extrémité du câble est alors tirée pour que le coin s'introduise correctement à l'intérieur du corps de l'attache.

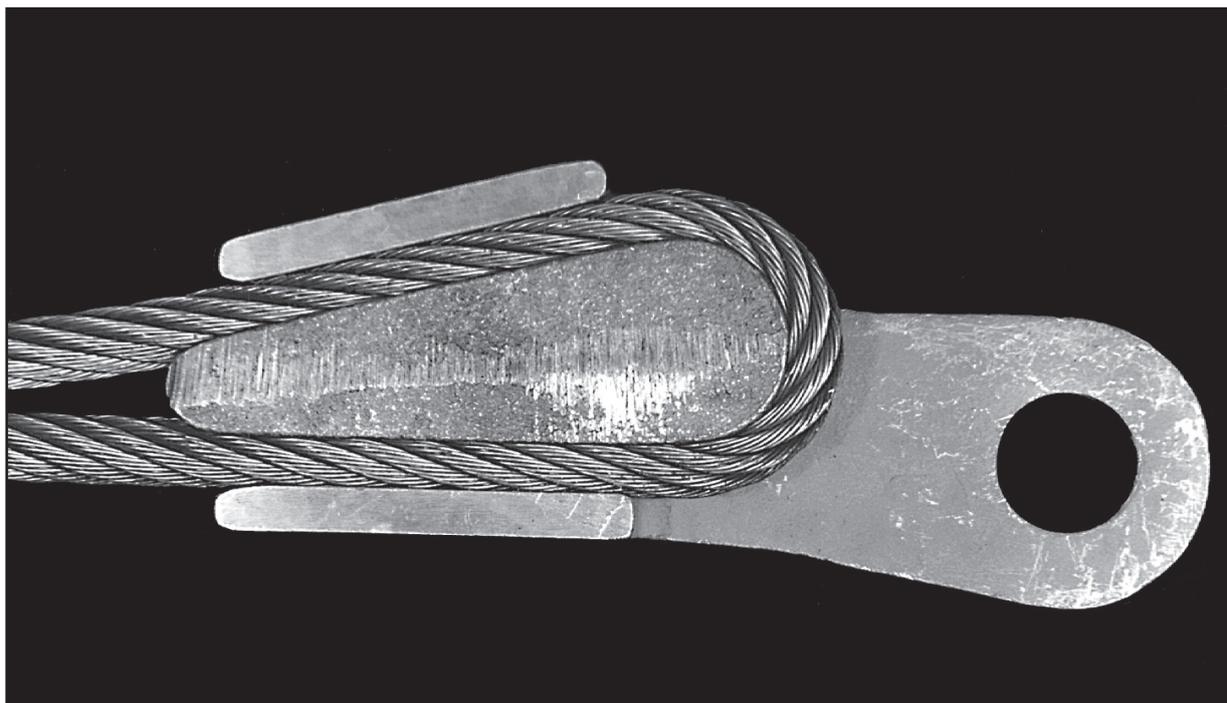


Fig. 14: Vue en coupe d'une boîte à coin asymétrique

Le brin " mort " est le morceau de câble qui dépasse derrière la boîte à coin. Il doit avoir une longueur correspondant à au moins plusieurs fois le diamètre du câble. Le brin " mort " doit être sécurisé par un serre-câble.

Ainsi, en cas de déchargement rapide du câble, le coin ne risquera pas de reculer et même éventuellement de s'échapper (Fig. 13).

La boîte à coin n'étant pas symétrique, il y a donc une bonne et une mauvaise façon de passer le câble.

Si la boîte à coin asymétrique est correctement installée, le brin tendu de câble entre en ligne droite dans l'attache. Cette ligne passe par l'axe d'articulation (Fig. 15). Il en résulte qu'aucun déplacement ne sera généré lors des chargements, et que par conséquent le brin tendu ne sera pas fatigué en flexion au droit de l'entrée dans l'attache.

Si le montage n'est pas correct, la droite d'action de la force de traction sera décalée. Par conséquent, chaque fois qu'elle sera chargée, l'attache s'orientera jusqu'à ce que la ligne d'action de la force de traction passe par l'axe de l'attache. Il en résultera une sévère flexion du brin tendu au niveau de l'entrée dans l'attache (Fig. 16).

Les contraintes induites dans le câble au niveau de cette déflexion réduiront sa charge de rupture. De plus, la boîte s'alignera lors de chaque changement de chargement. Il en résultera de fréquentes flexions sur un très petit rayon qui provoqueront une fatigue prématurée des fils dans cette zone du câble. L'attache pourra ainsi se rompre prématurément, même pour de faibles sollicitations en traction.

Comme spécifié ci-avant, le brin " mort " doit être sécurisé par un serre-câble.

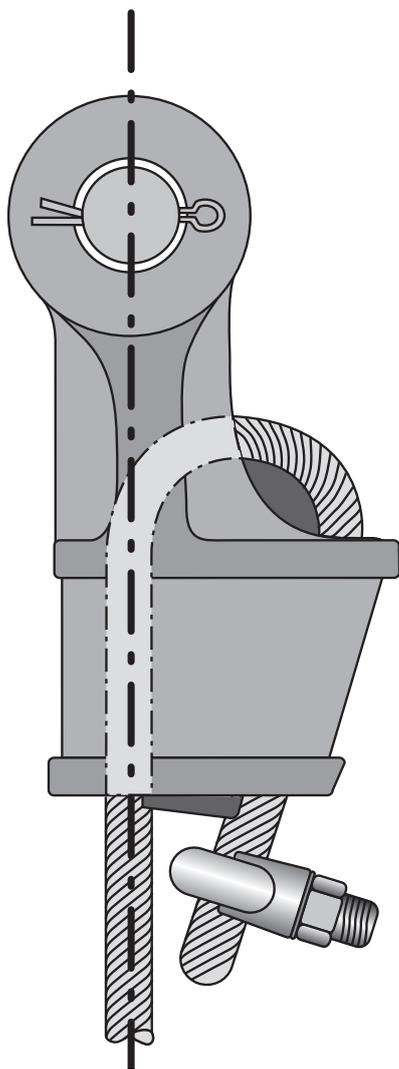


Fig. 15: Montage correct de la boîte à coin

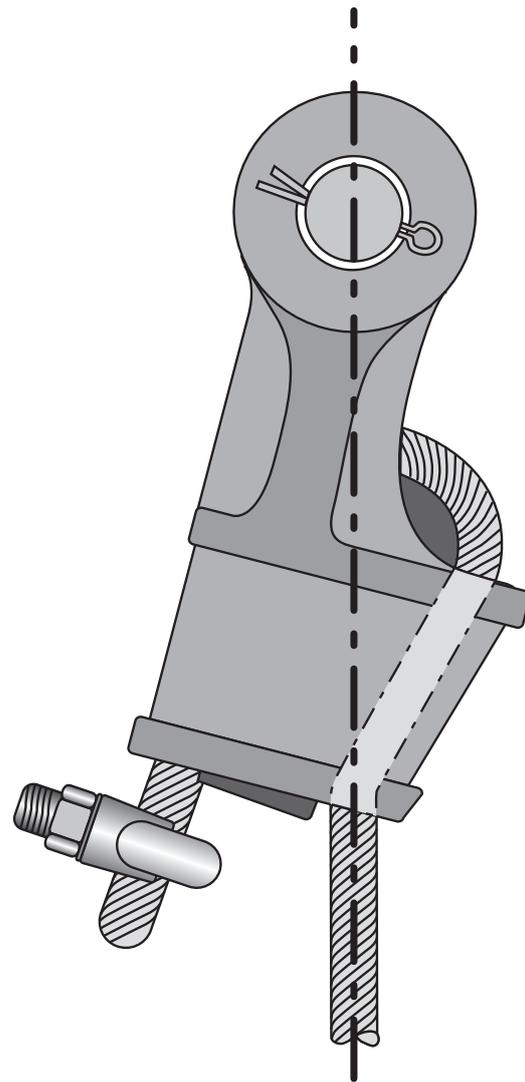


Fig. 16: Montage incorrect de la boîte à coin

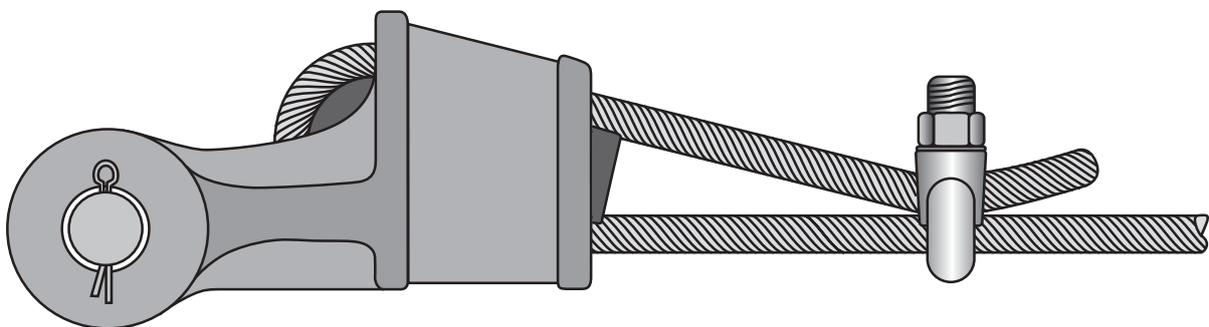


Fig. 17: Montage incorrect avec liaison du brin "mort" sur le brin tendu

Ce serre-câble ne doit pas être installé de manière à relier les brins "mort" et tendu de l'attache (Fig. 17). Pour une telle configuration, d'une part l'effort de serrage du serre-câble réduira considérablement la résistance du brin tendu. D'autre part le brin tendu cherchera à ajuster sa longueur lors de chaque changement de chargement. Le brin "mort" étant attaché sur le brin tendu, un allongement du brin tendu ne sera possible que si ce brin "mort" s'allonge également, prenant alors une partie de la charge. Un serre-câble correctement serré ne glissera pas pour permettre une détention du brin "mort". Par conséquent, lors de chaque variation de chargement, un mouvement d'oscillation de l'attache sera généré. La partie du brin tendu du câble juste à l'entrée dans la boîte à coin supportera une sollicitation supplémentaire en fatigue de flexion.

Fig. 18 montre un câble de relevage de flèche qui était fixé par l'intermédiaire d'une boîte à coin dont les deux brins de câble étaient reliés par un serre-câble. Le brin tendu de câble est rompu au droit du serre-câble. Fig. 19 montre en détail la zone de rupture.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, seul le brin "mort" de câble doit être sécurisé par le serre-câble. Malheureusement, la longueur filetée de l'étrier d'un serre-câble n'est pas assez longue pour permettre le serrage d'un seul brin de câble. Ainsi, l'opérateur qui hésite à serrer un ou deux brins est facilement conduit vers la mauvaise solution qui consiste à attacher entre eux les brins "mort" et tendu de l'attache.

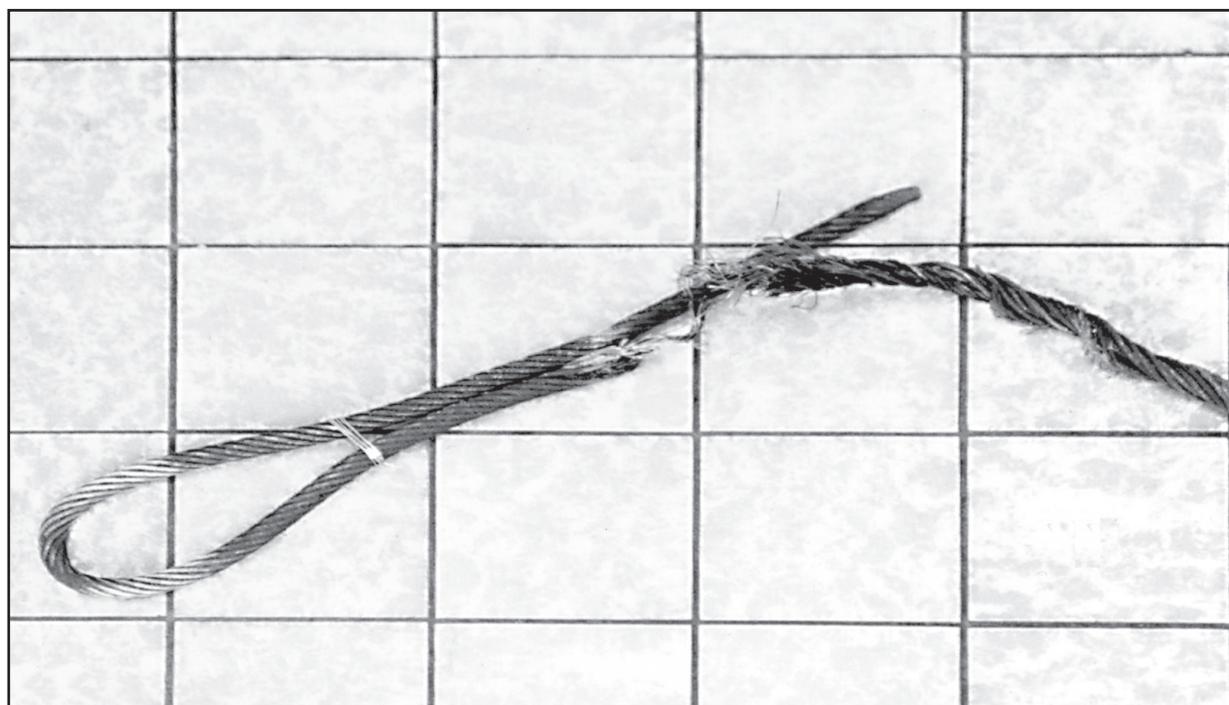


Fig. 18: Rupture du brin tendu au niveau du point de liaison

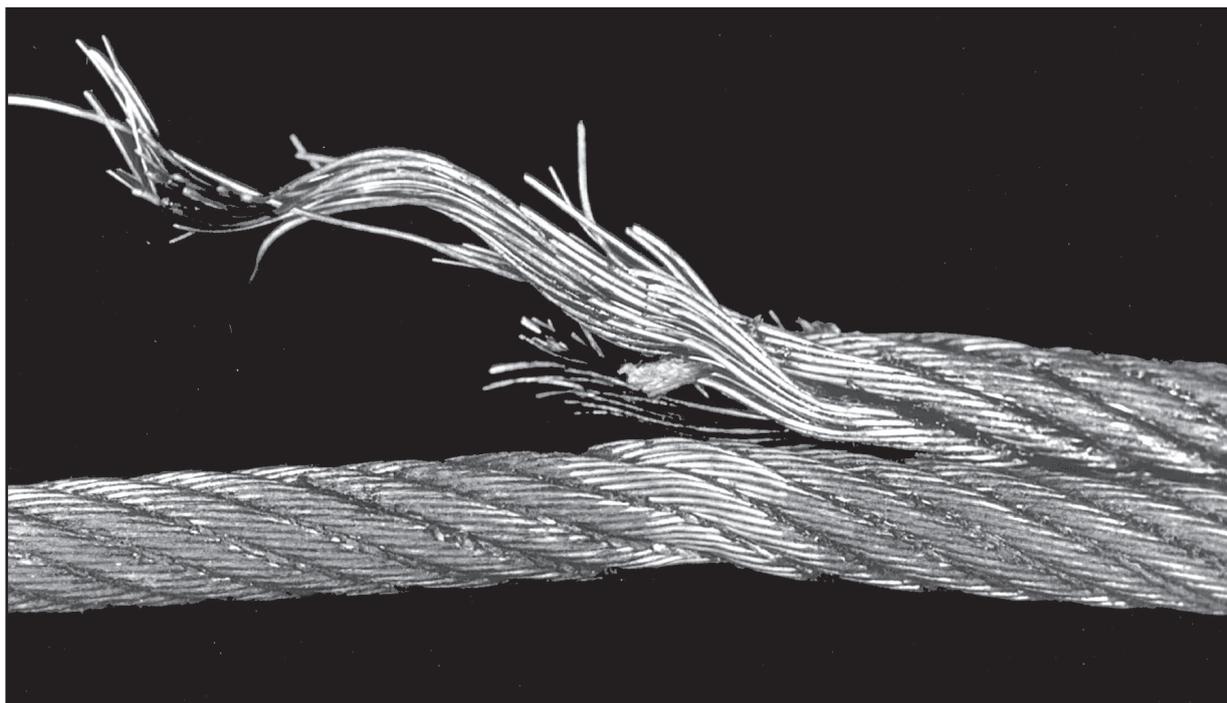


Fig. 19: Rupture du brin tendu au niveau du point de liaison (détail)

Afin de remédier au problème de cette trop courte longueur filetée, plusieurs réglementations nationales demandent que le brin "mort" soit attaché avec un autre morceau de câble (Fig. 20).

Une meilleure solution consiste cependant à laisser une longueur de brin "mort" suffisante pour permettre la réalisation d'une boucle sur cette extrémité du câble (Fig. 21). Grâce à cette configuration, le brin "mort" peut être attaché à sa propre extrémité à la sortie de la boîte à coin.

Cette solution a un autre avantage: la flexion du brin sur le très petit rayon du coin génère une déformation permanente au sein du câble. Cette déformation plastique rend plus difficile le passage du câble au travers des réas d'un moufle. Si l'extrémité du câble est sujette à être démontée régulièrement, par exemple pour changer le nombre de brins d'un mouflage d'une grue mobile, l'extrémité du brin "mort" devrait si possible dépasser l'attache d'environ un mètre. Cette extrémité du câble peut être contre-fléchie et être fixée au niveau de l'attache (Fig. 21). La déformation plastique sera ainsi positionnée à environ un mètre de l'extrémité du câble. Lors du re-passage du câble dans les réas du mouflage, il sera possible, dans un premier temps, de faire passer la partie de câble non déformée jusqu'à ce que la partie déformée se bloque. On pourra alors se servir de la partie du câble déjà passée de l'autre côté de la poulie pour tirer, et donc faire passer la partie déformée.

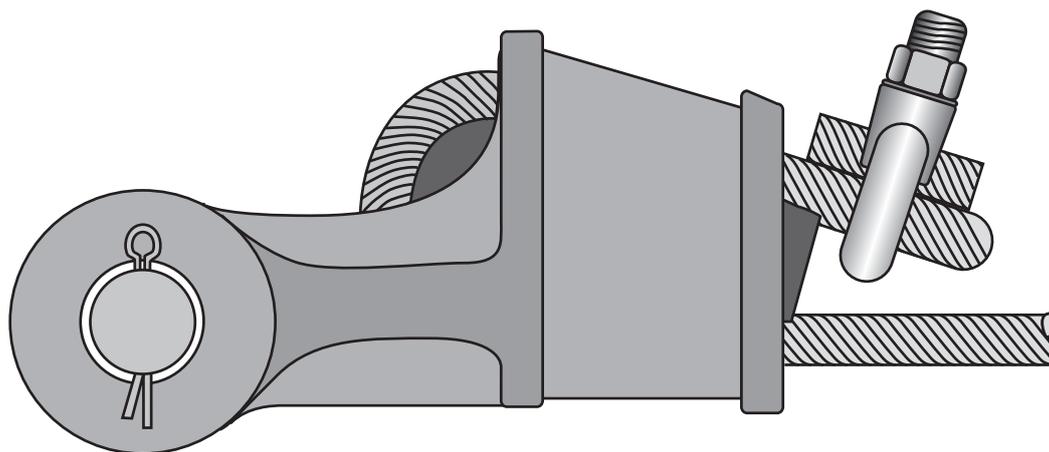


Fig. 20: Fixation du brin "mort" avec un autre morceau de câble

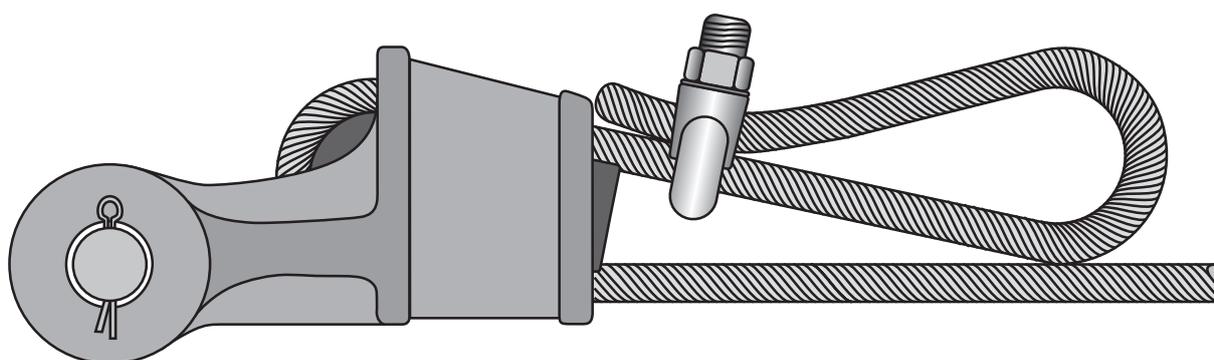


Fig. 21: Fixation recommandée du brin "mort"

Du fait de l'importance des contraintes de flexion générées par l'enroulement du câble autour du coin, la structure du câble se déforme, laissant apparaître l'âme métallique. Ceci n'est pas critique du point de vue de la sécurité de l'attache. Si des ruptures de fils sont constatées dans cette zone, elles ne sont normalement pas la conséquence de cette flexion. Elles sont par contre plus probablement le résultat de l'installation du câble. En effet, de temps en temps un installateur essayera de forcer le câble et le coin à l'intérieur de l'attache par martelage sur le câble. Les fils de la surface du câble sont ainsi abîmés pendant cette opération.

4.5. Contrôle

Lors du contrôle d'une boîte à coin asymétrique, il faut en premier lieu s'assurer que le corps de l'attache, ainsi que le coin, sont adaptés au diamètre du câble. Si le coin est trop petit, ou si le corps est trop grand, le coin sera entraîné trop loin dans le corps de l'attache lors du chargement. Il est à cet effet très utile, particulièrement si la boîte à coin est fréquemment démontée et réutilisée, de marquer les parties préalablement à la première utilisation avec de la peinture ou par poinçonnage d'un repère.

Il faudra de plus vérifier si le coin a été correctement mis en place. Le brin actif de l'attache doit être parfaitement aligné sur l'axe de la boîte à coin. Il ne doit donc pas être fléchi. Le câble doit être examiné en vue de la recherche de fils cassés visibles dans la zone du coin. En cas de doute, l'attache sera complètement démontée. Après chaque dépose de câble, et préalablement à sa réutilisation, la boîte à coin doit être rigoureusement examinée en vue de détecter des déformations ou des fissures.

4.6. Exécutions spéciales

Il existe un nombre très important de différents types de boîtes à coin asymétriques. Les modèles varient en fonction du matériau, du mode de fabrication (moulé ou mécano soudé), de la géométrie (angle des coins) et du mode de sécurisation du brin "mort". Fig. 22 montre deux très grosses boîtes à coin utilisées pour l'attache terminale des câbles de levage d'une dragueline en Australie.



Fig. 22: Boîtes à coin montées sur une dragueline

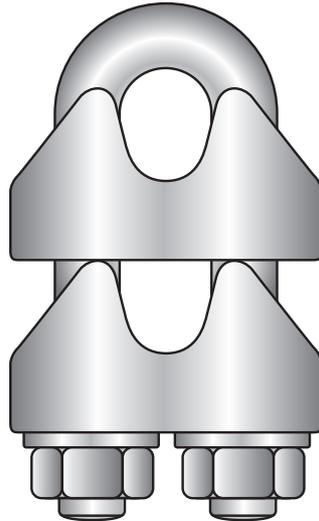


Fig. 23: Serre-câble "Piggy-back" pour boîte à coin

Aux USA, un fabricant propose un modèle breveté de serre-câble qui permet une sécurisation du brin „mort“, tout en laissant libre le brin actif. Ce serre-câble, qui est appelé 'Piggy-Back', ressemble à un serre-câble traditionnel, mais avec deux sabots. Il est donc livré avec un étrier plus long (Fig. 23). Le brin „mort“ est serré entre l'étrier et le sabot supérieur comme dans un serre-câble traditionnel.

Par contre, le brin actif passe dans le sabot inférieur. Il n'est pas serré car ce sabot vient en butée sur le sabot supérieur avant de contraindre le câble.

Un autre mode de sécurisation du brin "mort" consiste à attacher directement le câble sur le corps de la boîte à coin asymétrique (Fig. 24)

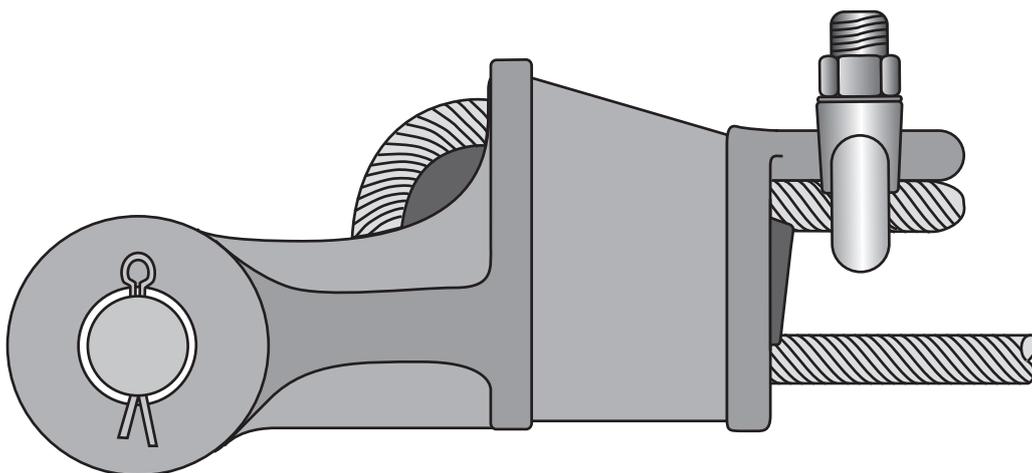


Fig. 24: Fixation du brin "mort" sur le corps du culot

Une boîte à coin avec un coin allongé sur lequel on fixe le brin „mort“ représente un type d'attache très fiable. Ce système est breveté aux USA (Fig. 25).

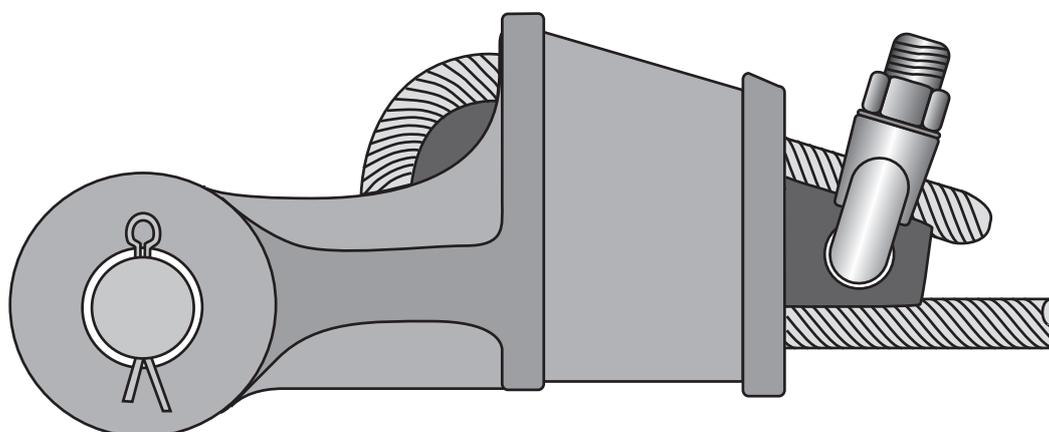


Fig. 25: Fixation du brin " mort " sur le coin

En cas d'utilisation de câbles antigiratoires, il est souvent recommandé d'installer l'émerillon entre l'attache câble et le point de fixation sur la structure. La hauteur de levage se trouverait réduite du fait de l'installation de l'émerillon. Dans ces cas l'utilisation d'une boîte à coin asymétrique avec émerillon intégré est très avantageuse (Fig. 26).

Cette attache ne réduit que marginalement la hauteur de levage, tout en présentant l'avantage de garantir que l'émerillon sera toujours aligné avec le câble.

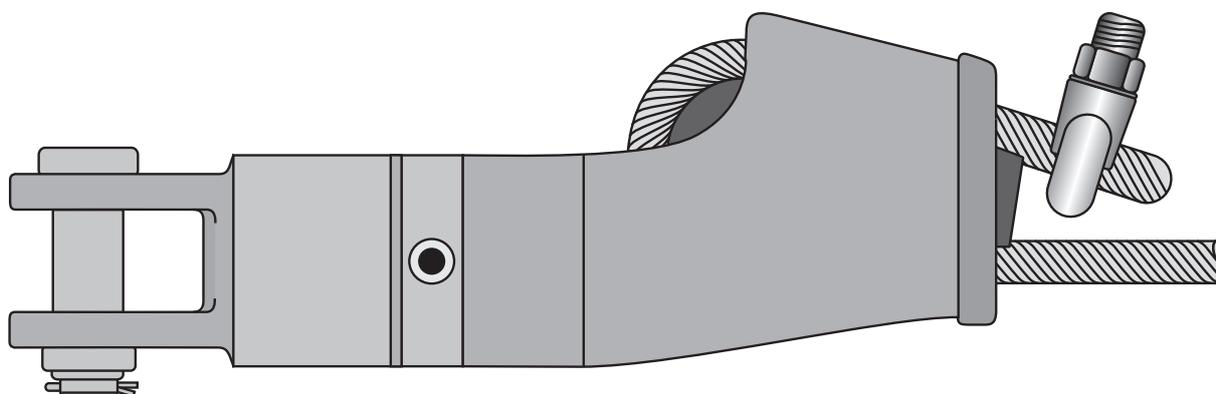


Fig. 26: Boîte à coin avec émerillon intégré

5. La boîte à coin symétrique

La boîte à coin symétrique (Fig. 27) n'est utilisée comme attache terminale que pour les câbles d'ascenseur et de monte-charge. Elle est d'une installation et d'un démontage faciles, ce qui est un grand avantage lorsqu'il par exemple faut ajuster la longueur des câbles d'un ascenseur.

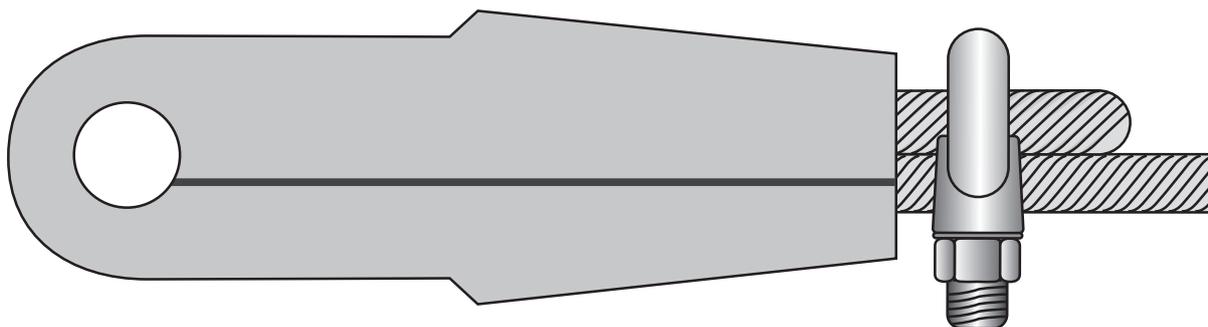


Fig. 27: Boîte à coin symétrique selon EN 13411-7

5.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitations en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique l'attache avec une boîte à coin symétrique supporte - en fonction des différents types-entre 80% et 85% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ces attaches supportent - en moyenne - environ 50% des cycles qu'aurait supportés une attache par culot métallique (voir annexe A).

Les boîtes à coin symétriques sont normalement réutilisées après la dépose du câble. Elle doivent par conséquent supporter sans dommage un essai de fatigue en traction jusqu'à la rupture du câble.

5.2. Normalisation

Les boîtes à coin symétriques sont normalisées selon la EN 13411-7. Selon cette norme les angles du coin et de la boîte doivent être identiques. La longueur de serrage doit être au moins de 7,3 fois le diamètre nominal du câble. Pour les essais de qualification, la boîte à coin doit supporter 75.000 cycles de traction entre 15% et 30% de la charge de rupture minimale du câble sans endommagement permanent.

5.3. Mode de fonctionnement

La boîte à coin symétrique fonctionne selon un mode opératoire identique à celui décrit au chapitre 4.3 . Par opposition à un montage correct de boîte à coin asymétrique, la droite d'action de l'effort ne pourra jamais, par construction, être dans l'axe de fixation de l'attache. De ce fait, l'attache supportera toujours un léger pivotement lors de l'application du chargement, ce qui interdit son utilisation pour la plupart des applications. Ceci est cependant de faible importance pour les câbles d'ascenseur qui, d'une part, ne travaillent que sous de faibles charges et qui, d'autre part, ne sont soumis qu'à de faibles variations de tension en service.

5.4. Fabrication / Mise en place

L'installation d'une boîte à coin symétrique est réalisée de la même manière que celle d'une boîte à coin asymétrique, selon le mode opératoire décrit au chapitre 4.4. Le coin étant symétrique, il n'existe donc pas de risque de monter l'attache à l'envers. Une fois installé, le coin est sécurisé par la mise en place d'une goupille fendue. Contrairement à ce qui est rigoureusement interdit pour une boîte à coin asymétrique, la norme EN 13411-7 impose la mise en œuvre d'un serre-câble reliant le brin „mort“ au brin actif. Cette incohérence n'a cependant que peu d'effet sur le comportement de l'attache du fait des faibles charges et des faibles variations de cette charge pour un ascenseur.

5.5. Contrôle

Le contrôle d'une boîte à coin symétrique doit être réalisé de façon similaire à celui d'une boîte à coin asymétrique (voir section 4.5). Il est recommandé de démonter périodiquement le serre-câble pour inspecter le câble dans cette zone .

5.6. Exécutions spéciales

Aucune fabrication spéciale de boîte à coin symétrique n'a été recensée à ce jour.

6. L'épissure

L'épissure est le plus ancien de tous les différents types de terminaison. Les cordes sont épissurées depuis des milliers d'années. L'inventeur du câble métallique, Wilhelm August Julius Albert, fut également le premier à utiliser les épissures comme terminaison. Cependant, de nos jours, l'épissure est en train d'être remplacée par d'autres types d'attaches terminales. Elle reste toutefois d'une grande utilité pour les applications avec de hautes températures de service, où les autres types de terminaison ne sont pas autorisés. C'est, par exemple, le cas des ponts de coulée sidérurgiques.

Une terminaison sous forme d'une épissure autour d'une cosse est appelée une cosse épissurée. Elle peut être réalisée avec une cosse pleine (Fig. 28), ou avec une cosse ronde. Une terminaison constituée d'une boucle sans cosse est appelée une boucle épissurée.

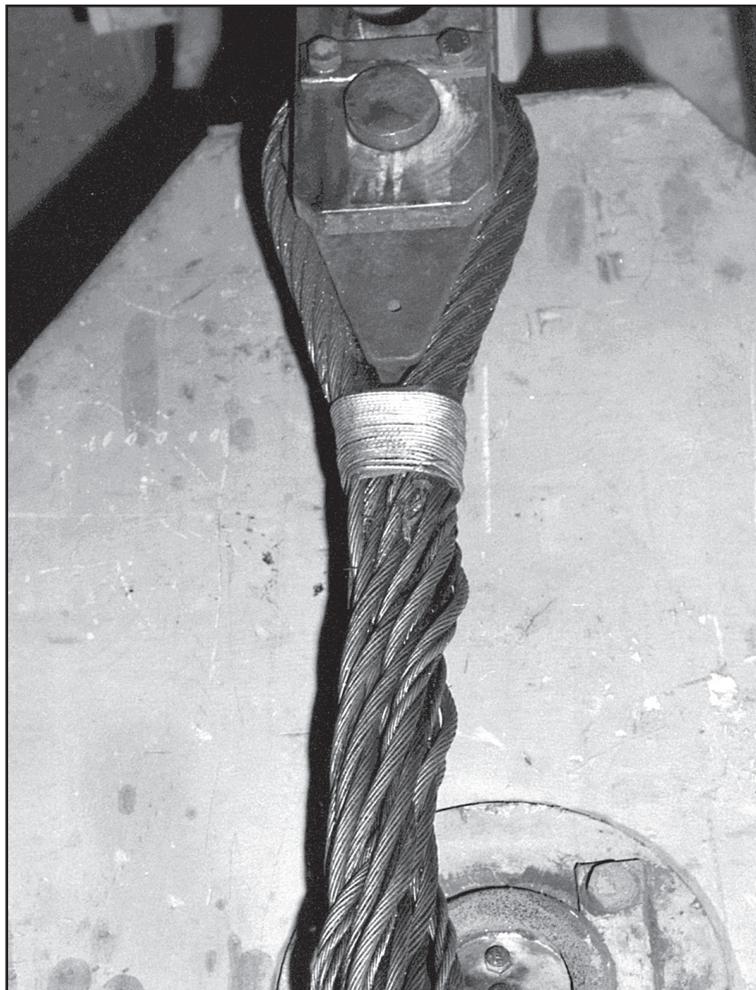


Fig. 28: Epissure avec cosse pleine

6.1. Charge de rupture, endurance sous sollicitations en traction et conditions de température

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison par épissure selon DIN 3089 Partie 1 supporte environ 85% de la charge de rupture du câble utilisé. Ce chiffre n'est plus que d'environ 50% en cas d'utilisation d'une cosse ronde. Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison supporte un nombre de cycles nettement inférieur à la moitié de ceux qu'aurait supportés une attache par culot métallique (voir annexe A).

Les températures de service des terminaisons par épissure de câbles à âme en fibre se situent entre -60°C et +100°C. Ces mêmes terminaisons sur des câbles à âme métallique peuvent être utilisées pour des températures comprises entre -60°C et +400°C. Entre +250°C et +400°C, la charge admissible sur le câble ne sera que de 75% de sa valeur nominale.

6.2. Normalisation

Les terminaisons par épissure pour les câbles de six et huit torons, sont normalisées selon la norme DIN 3089 Partie 1. La norme EN 13411-2 s'applique pour les épissures réalisées sur des élingues.

6.3. Mode de fonctionnement

La capacité de l'épissure est exclusivement due aux frottements entre les torons du câble et les torons réinsérés lors de la confection de la boucle. Lors de son chargement le câble a tendance à réduire son diamètre. Il augmente ainsi la pression de contact entre ces torons, ce qui augmente la capacité d'adhérence au niveau du contact entre les torons.

Cependant, si le câble est fréquemment sollicité par des charges significatives (plus de 15% de sa charge minimale de rupture) puis complètement (ou presque complètement) déchargé, l'épissure pourra se relâcher. Les torons réinsérés auront alors tendance à sortir d'eux-mêmes. L'épissure perdra par conséquent toute sa capacité. C'est pour cette raison que la norme DIN 3089 interdit catégoriquement ce type de terminaison pour les câbles subissant des chargements de ce genre, comme par exemple les câbles de levage des grues avec de faibles poids morts.

6.4. Fabrication / Mise en place

La norme DIN 3089 Partie 1. définit de façon très détaillée le mode de réalisation d'une épissure. Les épissures sur des câbles à huit torons se font de façon légèrement différente de celle utilisée pour un câble à six torons. Il en va de même entre les câbles à âme métallique et les câbles à âme en fibre.

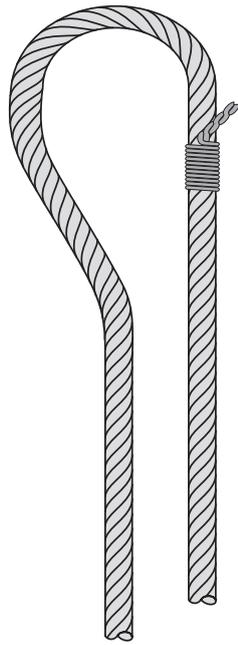


Fig. 29: Ligaturage de fin de la boucle

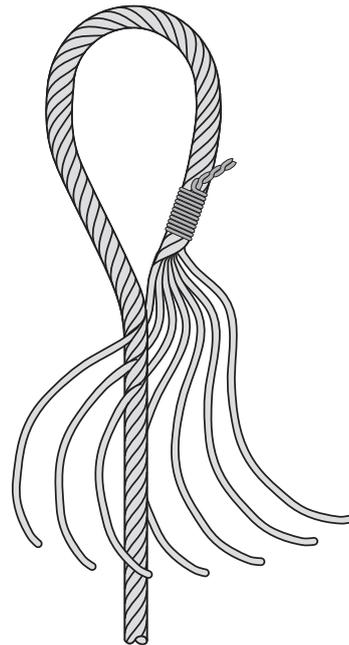


Fig. 30: Insertion des torons

Une épissure peut aussi bien être exécutée dans la direction du câblage que dans la direction opposée.

Les paragraphes suivants décrivent les étapes principales de la réalisation d'une boucle épissurée sur un câble à six torons avec une âme en fibre.

Il faut premièrement constituer une boucle avec un surplus de longueur, puis marquer ce qui sera la fin de la boucle par un ligaturage (Fig. 29). La boucle est alors formée, les deux parties du câble sont ensuite reliées par un ligaturage provisoire. Tous les torons sont ensuite décâblés jusqu'au niveau de la ligature, l'âme est coupée au niveau de cette même ligature. Les torons décâblés sont alors insérés, selon les directives de la norme, entre les torons du brin "actif" de la boucle (Fig. 30). On utilise en général un mandrin à épissure (également appelé épissoir ou aiguille), de préférence de forme plate, pour créer un jeu entre les torons (Fig. 31). Ce mandrin est introduit au travers du câble puis tourné de façon à élever certains torons, ce qui libérera de la place pour y insérer les torons de l'extrémité de la boucle.

Fig. 32 et Fig. 33 montrent une épissure sur un câble à huit torons avec une âme métallique, le mandrin est introduit dans le câble.

Pour la réalisation d'épissures sur des câbles de grand diamètre, la force physique des opérateurs est souvent insuffisante pour écarter les torons. Des mandrins hydrauliques sont alors utilisés. Certaines fois, les câbles sont mécaniquement détournés dans la zone de l'épissure, afin de faciliter l'écartement des torons. Une fois que les torons d'extrémité ont été introduits, le câble est alors recâblé. Fig. 34 montre des opérateurs réalisant une épissure à l'aide d'un outillage motorisé afin de faire tourner l'extrémité du câble



Fig. 31: Mise en place d'un épissoire au marteau

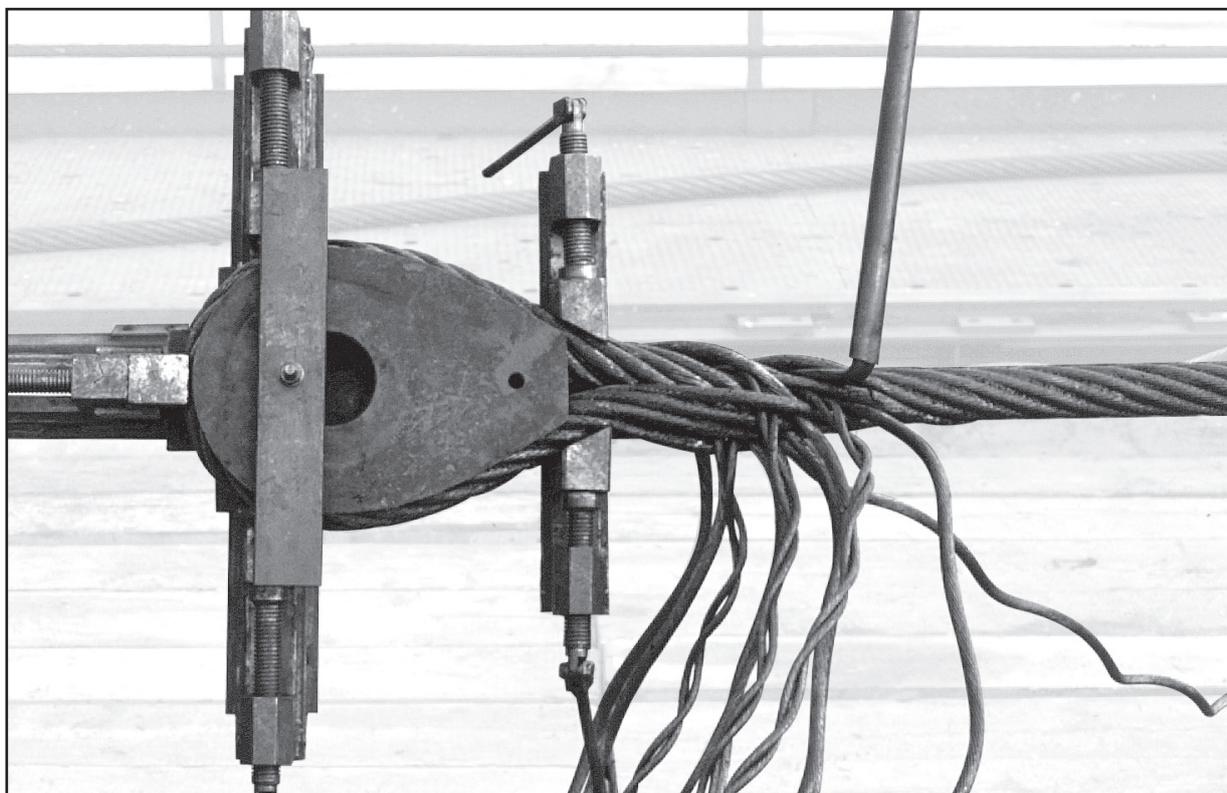


Fig. 32: Epissure d'un câble huit torons avec âme métallique



Fig. 33: Epissure d'un câble huit torons avec âme métallique (détail)

Quand chaque toron a été réinséré à l'intérieur du câble, ajusté et martelé pour qu'il prenne bien sa place, la première passe est accomplie.

Il y a maintenant, pour une épissure réalisée conformément aux directives de la norme DIN 3089, un toron inséré tous les deux torons du brin actif de la boucle.

Pour les câbles croisés, cinq autres passes sont réalisées. Pour les câbles Lang et pour les câbles croisés qui sont principalement sujets à des sollicitations variables en traction sept autres passes doivent être rajoutées.

Pour les épissures sur des câbles à âme en fibre, une fois que la quatrième passe est réalisée, la partie d'âme dénudée est alors coupée.

Enfin, une dernière passe est réalisée en ne prenant en compte qu'un toron sur deux afin de créer une transition entre la zone de l'épissure qui est plus grosse que la section courante du câble, et le câble lui-même.

Toutes les parties protubérantes des extrémités de torons sont alors coupées de façon à laisser une longueur libre d'environ un diamètre de toron. Afin de réduire les risques de blessure toutes les extrémités des torons sont enveloppées avec du chanvre, du plastique ou du fil. Finalement on enlève la ligature initialement mise en place.



Fig. 34: Réalisation d'une épissure

6.5. Contrôle

Le contrôle visuel d'une épissure est une opération relativement facile. Une épissure n'est plus apte à assurer son service d'une part lorsque l'on détecte des fils cassés sur la zone de l'épissure, d'autre part s'il y a glissement d'un toron de plus d'une passe, et enfin si la zone est fortement corrodée. Une fois que l'épissure est terminée, plusieurs utilisateurs recommandent de peindre la zone avec une peinture en aérosol. Il sera alors facile de détecter visuellement un glissement de toron. En effet, dès qu'il y aura glissement, une zone non peinte, donc initialement cachée, deviendra visible.

Il pourra être nécessaire d'enlever la protection de l'extrémité de l'épissure afin de faciliter l'évaluation de l'état de la zone de l'épissure.

6.6. Exécutions spéciales

Il existe beaucoup d'autres types d'épissures spéciales utilisées en tant que terminaison et qui ne font référence à aucune norme. Ces épissures ne seront pas détaillées dans cette brochure.

Les connexions entre deux câbles, ou entre les deux extrémités d'un même câble (constitution d'une boucle), ainsi que les élingues sans fin, ne sont pas considérées comme des attaches terminales, et ne sont par conséquent pas traitées dans cette brochure.

7. Le manchonnage aluminium

Le manchonnage aluminium est probablement le type de terminaison le plus répandu en Europe (Fig. 35). Aux USA, on l'appelle "épissure mécanique".

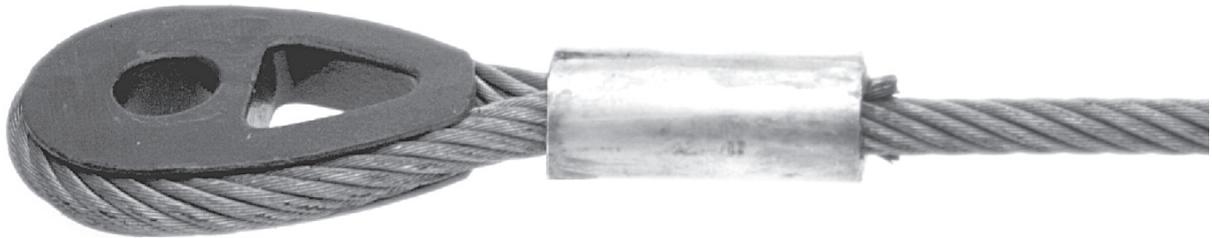


Fig. 35: Manchonnage aluminium – probablement le type de terminaison le plus répandu en Europe

7.1. Charge de rupture, endurance sous sollicitations en traction et conditions de température

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison par manchonnage aluminium supportera - en fonction de son type - entre 80% et 100% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison supportera en moyenne 60% du nombre de cycles qu'aurait supportés une attache par culot métallique (voir annexe A).

Les températures de service des terminaisons par manchonnage aluminium de câbles à âme en fibre se situent entre -60°C et +100°C. Ces mêmes terminaisons sur des câbles à âme métallique peuvent être utilisées pour des températures comprises entre - 60°C et +150°C.

7.2. Normalisation

Les terminaisons par manchonnage aluminium sont couvertes par la norme EN 13411-3.

7.3. Mode de fonctionnement

Le brin "actif" et le brin "mort" sont fermement pressés l'un contre l'autre. Un transfert d'effort entre ces deux brins est donc possible, aussi bien par adhérence que par interférence géométrique. L'inter verrouillage est principalement généré par l'indentation des deux brins de câble l'un dans l'autre, et accessoirement par l'indentation dans le manchon aluminium.

7.4. Fabrication / Mise en place

Pour réaliser un manchonnage aluminium il faut premièrement choisir la forme du manchon. Selon la norme EN 13411-3 il existe le manchon cylindrique de forme A, le manchon cylindrique arrondi (forme B) et le manchon cylindrique conique (forme C) (Fig. 36).

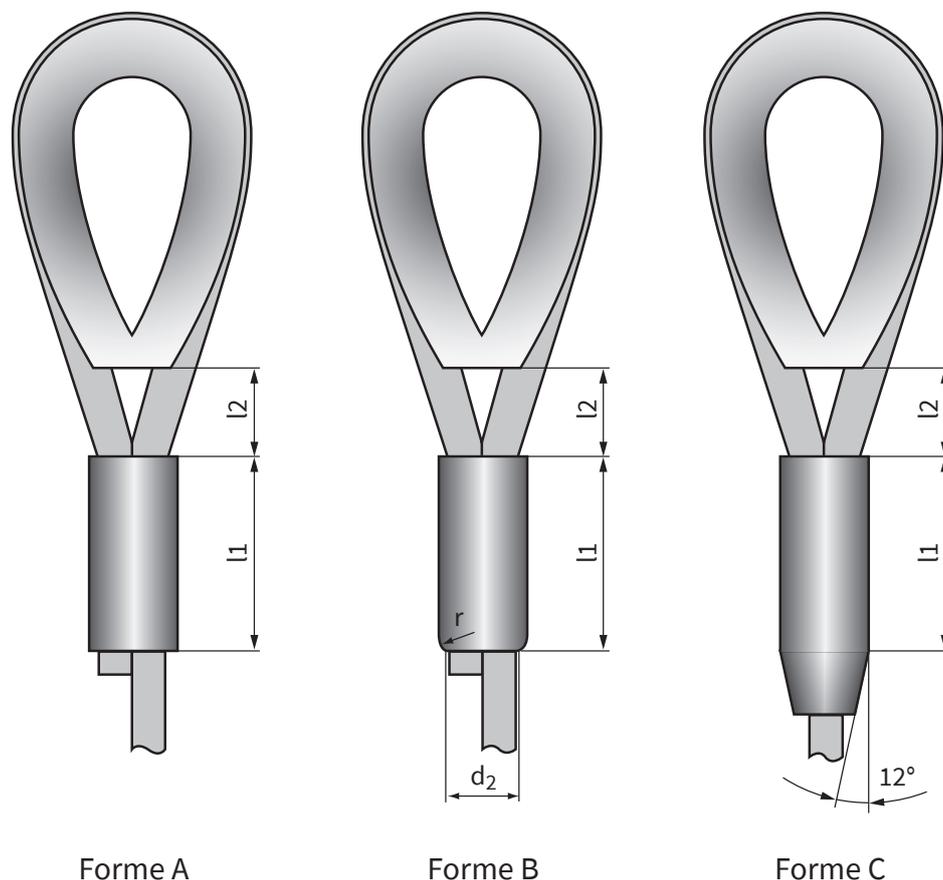


Fig. 36: Différentes formes de manchons

Les manchons de type A et de type B, sont issus du même brut, et ont une longueur identique (Fig. 37). Les manchons de type C sont également issus du même brut, mais ils ont une longueur supérieure. La sur longueur est usinée, d'une part pour créer une fenêtre et d'autre part en vue d'obtenir la forme conique une fois le manchon serti (Fig. 38). L'extrémité coupante du câble qui dépasse des manchons de type A et B présente des risques de blessures. Le manchon de type C supprime ces risques puisqu'il enferme l'extrémité du brin „mort“ du câble. De plus, sa forme lui évite de s'accrocher lorsqu'on la tire, ce qui est d'un grand intérêt quand, par exemple, une élingue est récupérée en dessous d'une charge.

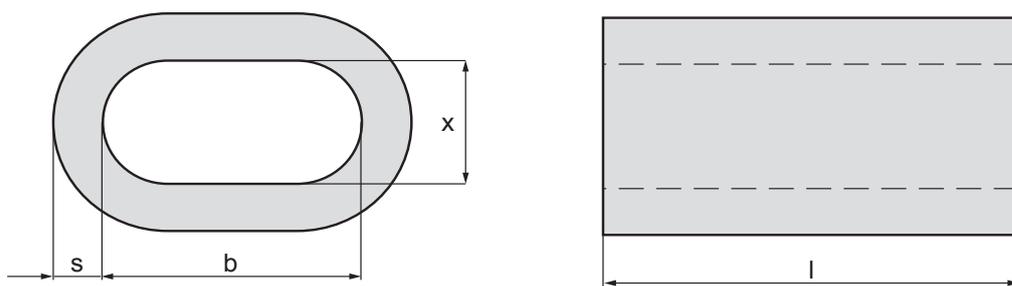


Fig. 37: Brut pour manchons A et B

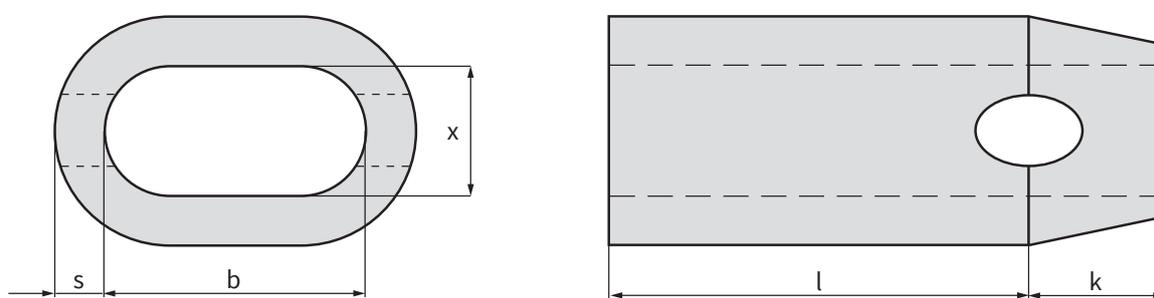


Fig. 38: Brut pour manchon C

La référence de taille d'un manchon s'incrémente de 0,5 jusqu'à 7, de 1 entre 7 et 14, de 2 entre 16 et 28, et de 4 entre 32 et 60.

Pour définir la dimension correcte du manchon il faut prendre en compte le diamètre nominal, le coefficient de remplissage et la constitution du câble.

Quatre cas distincts sont pris en compte (Fig. 39):

Cas X: Pour les câbles à une seule couche de torons circulaires sur âme en fibre ainsi que pour les grelins ayant un coefficient de remplissage d'au moins 0,36. Le numéro de taille correspond au diamètre nominal du câble. Par exemple un câble de 22 mm de diamètre nominal sera manchonné avec un manchon ref 22.

Cas Y1: Pour les câbles à une couche de torons circulaires sur une âme métallique, et également pour les câbles à plusieurs couches de torons circulaires avec un coefficient de remplissage allant jusqu'à 0,62. Le numéro de référence du manchon correspond au diamètre nominal du câble plus une taille. Par exemple un câble de 22 mm de diamètre nominal sera manchonné avec un manchon ref 24.

Cas Y2: Pour les câbles à une couche de torons circulaires sur une âme métallique, et également pour les câbles à plusieurs couches de torons circulaires avec un coefficient de remplissage compris entre 0,62 et 0,78.

Diamètre nominal du câble d	Diamètre réel limite du câble pour la sélection du manchon de jusqu'à		Référence de taille du manchon (selon EN 13411-3)			
			Câbles à une seule couche de torons circulaires sur âme en fibre et grelins	Câbles à une couche de torons circulaires sur âme métallique, et câbles à plusieurs couches de torons circulaires		Câbles monotorons Cas Z f ≥ 0,78 (2 manchons)
				Cas X coefficient de remplissage f > 0,36	Cas Y1 coeff. f > 0,62	
2,5	2,5	2,7	2,5	3	-	-
3	2,8	3,2	3	3,5	-	-
3,5	3,3	3,7	3,5	4	-	-
4	3,8	4,3	4	4,5	-	5
4,5	4,4	4,8	4,5	5	-	6
5	4,9	5,4	5	6	-	6,5
-	5,5	5,9	6	6,5	-	7
6	6,0	6,4			7	
6,5	6,5	6,9	6,5	7	8	8
7	7,0	7,4	7	8	9	9
-	7,5	7,9	8	9	9	10
8	8,0	8,4			10	
-	8,5	8,9	9	10	10	11
9	9,0	9,5			11	
-	9,6	9,9	10	11	11	12
10	10,0	10,5			12	
-	10,6	10,9	11	12	12	13
11	11,0	11,6			13	
-	11,7	11,9	12	13	13	14
12	12,0	12,6			14	
-	12,7	12,9	13	14	14	16
13	13,0	13,7			16	
-	13,8	13,9	14	16	16	18
14	14,0	14,7			18	
-	14,8	15,9	16	18	18	20
16	16,0	16,8			20	
-	16,9	17,9	18	20	20	22
18	18,0	18,9			22	
-	19,0	19,9	20	22	22	24
20	20,0	21,0			24	
-	21,1	21,9	22	24	24	26
22	22,0	23,1			26	
-	23,2	23,9	24	26	26	28
24	24,0	25,2			28	
-	25,3	25,9	26	28	28	32
26	26,0	27,3			32	
-	27,4	27,9	28	32	32	36
28	28,0	29,4			36	
-	29,5	31,9	32	36	36	40
32	32,0	33,6			40	
-	33,7	35,9	36	40	40	44
36	36,0	37,8			44	
-	37,9	39,9	40	44	44	48
40	40,0	42,0			48	
-	42,1	43,9	44	48	48	52
44	44,0	46,2			52	
-	46,3	47,9	48	52	52	56
48	48,0	50,4			56	
-	50,5	51,9	52	56	56	60
52	52,0	54,6			60	
-	54,7	55,9	56	60	-	-
56	56,0	58,8			-	
-	58,9	59,9	60	-	-	-
60	60,0	63,0			-	

Fig. 39: Référence de taille des manchons selon EN 13411-3

Le numéro de référence du manchon correspond au diamètre nominal du câble plus deux tailles. Par exemple un câble de 22 mm de diamètre nominal sera manchonné avec un manchon ref 26.

Cas Z: Pour les câbles monotorons avec un coefficient de remplissage d'au moins 0,78. Le numéro de référence du manchon correspond également au diamètre nominal du câble plus deux tailles. Pour ces câbles deux manchons doivent être installés à une distance correspondant à deux fois le diamètre du câble. Par exemple, un câble de 22 mm de diamètre nominal sera manchonné avec deux manchons ref 26 espacés d'environ 44 mm.

Pour un grand nombre de câbles spéciaux, tels que les câbles plastifiés, et également pour les compositions de câbles avec des torons à grande densité en fibre, des tailles de manchons différentes de celles basées sur le coefficient de remplissage, devraient être spécifiées.

Lors de la découpe à la longueur du câble, il faut s'assurer que les parties du câble qui seront ultérieurement situées à l'intérieur du manchon ne sont pas endommagées, et que le pas de câblage de ces sections n'est pas modifié. Lorsque le câble est coupé par induction, il faut s'assurer que la longueur affectée thermiquement est inférieure au diamètre du câble. De plus, les extrémités du câble ne doivent pas être refroidies trop rapidement. En cas d'utilisation de manchon de type C (cylindrique - conique) l'extrémité du câble qui se trouve enfermée à l'intérieur du manchon ne doit pas avoir été coupée par induction.

Si la ligature du câble est prise dans le manchon, elle ne doit alors être réalisée qu'avec des fils ou des torons de faible résistance. De plus le diamètre maximum du fil ou du toron de la ligature ne doit pas dépasser 1/20 du diamètre du câble.

Le câble est passé au travers du manchon, agencé en boucle ou enroulé autour d'une cosse, et finalement repassé au travers du manchon. La longueur d'une boucle doit être de trois fois le diamètre de l'axe de fixation, et en tout état de cause d'au moins quinze fois le diamètre du câble. Cette longueur est mesurée en agençant la boucle de telle manière que sa largeur soit la moitié de sa longueur (Fig. 40).

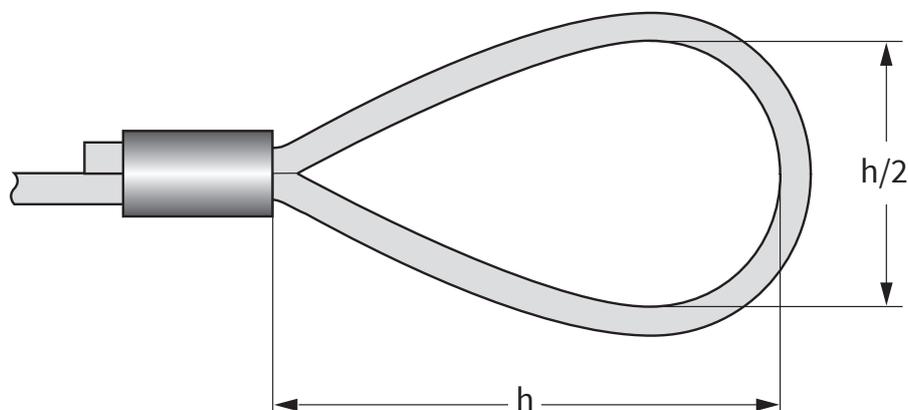


Fig. 40: Dimensions de la boucle

Quand la terminaison est réalisée avec une cosse, la distance l_2 (Fig. 36) entre la cosse et le manchon doit être, après manchonnage, d'environ deux fois le diamètre du câble. Avec les manchons de type A et B, l'extrémité du câble doit dépasser du manchon. Avec les manchons de type C, le brin "mort" est arrêté à l'extrémité de la partie cylindrique, tout en restant visible par la fenêtre du manchon.

Les câbles sont souvent préparés sur un établi avant d'être transportés sur la presse. Afin de se prémunir contre le risque de glissement du manchon pendant le transport, ce dernier peut être provisoirement fixé sur les brins de câbles, par un coup de marteau, ou bien à l'aide d'un étau ou d'un outillage hydraulique.

Un grand soin doit être apporté à s'assurer que les faces du manchon ne sont pas déformées pendant sa préparation (Fig. 41 et Fig. 42), faute de quoi ce manchon pourrait s'effondrer du côté déformé pendant le pressage.

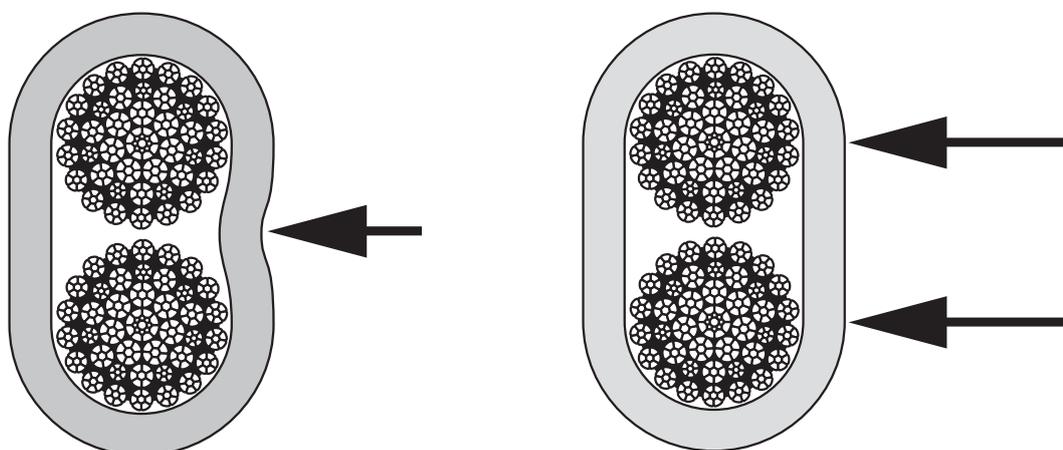


Fig. 41: Mauvaise préparation du manchon

Fig. 42: Bonne préparation du manchon

Avant le serrage, les zones de contact entre les mords du mandrin, ainsi que les zones de contact entre les mords et le manchon doivent être nettoyées. De plus, les faces de contact entre les mords du mandrin et le manchon doivent également être graissées afin de faciliter le fluage du manchon pendant le pressage. Ensuite, le manchon préparé et non serré est mis en place dans le mandrin. Il doit être parfaitement aligné dans la direction de serrage. Il est finalement pressé, en une seule opération, jusqu'à ce que les mords du mandrin se touchent (Fig. 43). Il faut enfin enlever le surplus de matière généré sur le manchon pendant le serrage et limer les bavures résiduelles afin d'écartier tous risques de blessure.

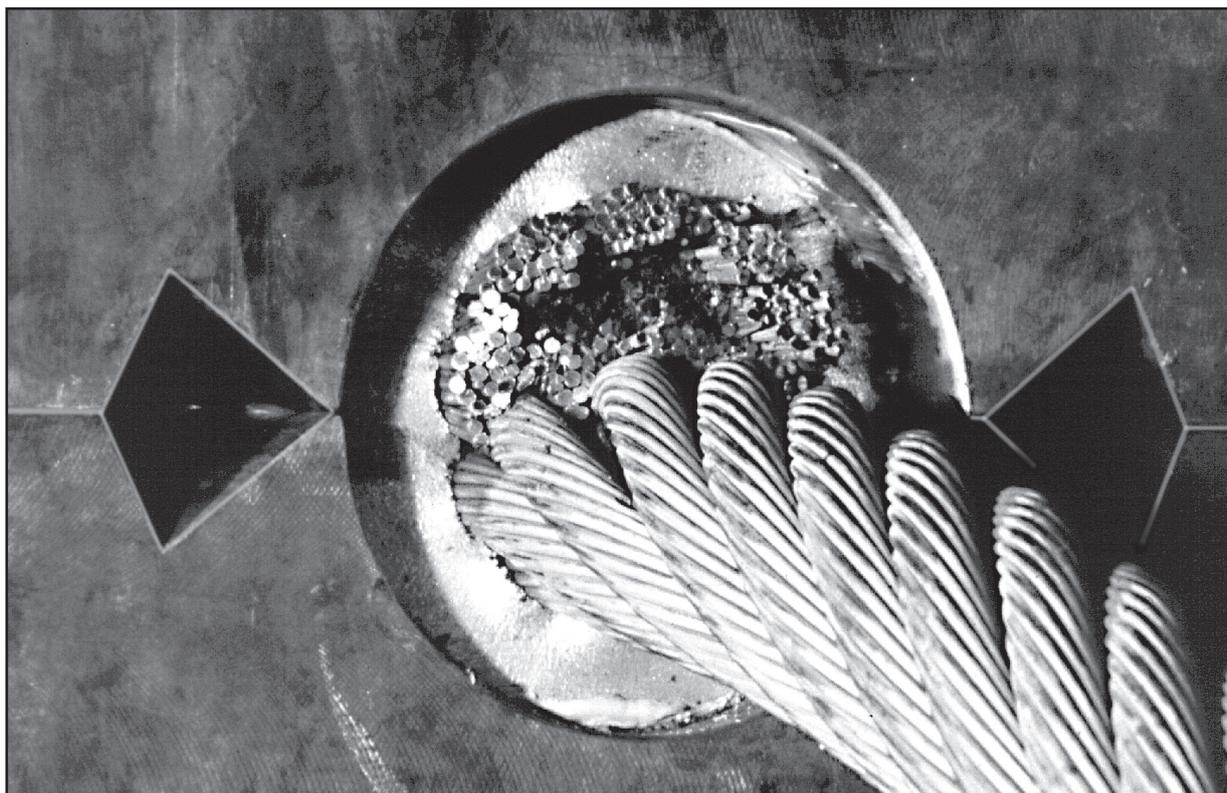


Fig. 43: Sertissage du manchon aluminium

Sur un arc de 120° le long de sa circonférence, le manchon doit avoir le diamètre spécifié par la norme EN 13411-3. Ce diamètre en mm correspond à deux fois la référence de taille du manchon (Fig. 44). Avant le serrage, la longueur en mm de la partie cylindrique du manchon est de 3,5 fois la référence de taille du manchon. Après le serrage, cette longueur est de 4,5 fois cette référence. Le manchon aura donc été allongé d'environ 28% pendant le sertissage. Le manchon doit être poinçonné d'une part avec les initiales du sertisseur (deux lettres), et d'autre part avec le logo DIN.

Le brin "mort" et le brin tendu sont très fortement pressés l'un contre l'autre dans la zone de sertissage.

Pour le sertissage de câbles croisés, les fils extérieurs des deux brins sont initialement sensiblement dans l'axe du câble. Ils pourront se réorganiser dans la zone de contact sans se croiser (Fig. 45).

Au contraire, pour le sertissage de câbles Lang, les fils des couches en contact se croisent. Sous l'effet de la pression ils s'indenteront les uns dans les autres (Fig. 46). Des essais de rupture en traction ont cependant montré qu'il n'y avait pas une grande différence entre des manchonnages sur câbles croisés ou sur câbles Lang. Lors d'un essai de fatigue en tension, les câbles croisés se comportent légèrement mieux que les câbles Lang au niveau de la zone de sertissage. Ceci n'est cependant pas un paramètre déterminant pour le choix du type de câblage pour les câbles non statiques.

No. du machon	dimension extérieur pressée d_1		d_2 min. [mm]	longueur parallèle		r^* [mm]
	nominale [mm]	tolérance [mm]		l_1^* [mm]	l_2^* [mm]	
2,5	5		—	12	3,75	—
3	6		—	14	4,5	—
3,5	7	+0,2	—	16	5,25	—
4	8	0	—	18	6	—
4,5	9		8	20	6,75	4,5
5	10		9	23	7,5	5
6	12		11	27	9	6
6,5	13	+0,4	12	29	9,75	6,5
7	14	0	13	32	10,5	7
8	16		14,5	36	12	8
9	18		16,5	40	13,5	9
10	20		18	45	15	10
11	22	+0,5	20	50	16,5	11
12	24	0	22	54	18	12
13	26		24	59	19,5	13
14	28	+0,7	25	63	21	14
16	32	0	29	72	24	16
18	36		32	81	27	18
20	40	+0,9	36	90	30	20
22	44	0	39	99	33	22
24	48		43	108	36	24
26	52	+1,1	46	117	39	26
28	56	0	50	126	42	28
30	60		53	135	45	30
32	64	+1,4	56	144	48	32
34	68	0	59	153	51	34
36	72		63	162	54	36
38	76	+1,6	66	171	57	38
40	80	0	69	180	60	40
44	88	+1,9	75	198	66	44
48	96	0	81	216	72	48
52	104	+2,1	87	234	78	52
56	112	+2,3	93	252	84	56
60	120	+2,4	99	270	90	60

Fig. 44: Dimensions finales des manchons selon EN 13411-3 (* dimensions approximatives)

En effet, pour ces câbles, les critères de dépose sont normalement atteints à cause des fils cassés dans les zones de travail (fatigue en flexion sur poulies ou tambour) et non pas par endommagement au niveau des attaches terminales (fatigue en traction).

Les terminaisons de type X et Y doivent être réalisées avec un seul manchon. On peut cependant occasionnellement rencontrer des terminaisons de types X et Y réalisées avec deux manchons. Le second manchon est alors supposé augmenter la sécurité, alors qu'en réalité il rend la terminaison moins sûre. Normalement, le brin tendu transfère 50% de sa charge sur le brin "mort" au niveau de la zone de sertissage (Fig. 47).

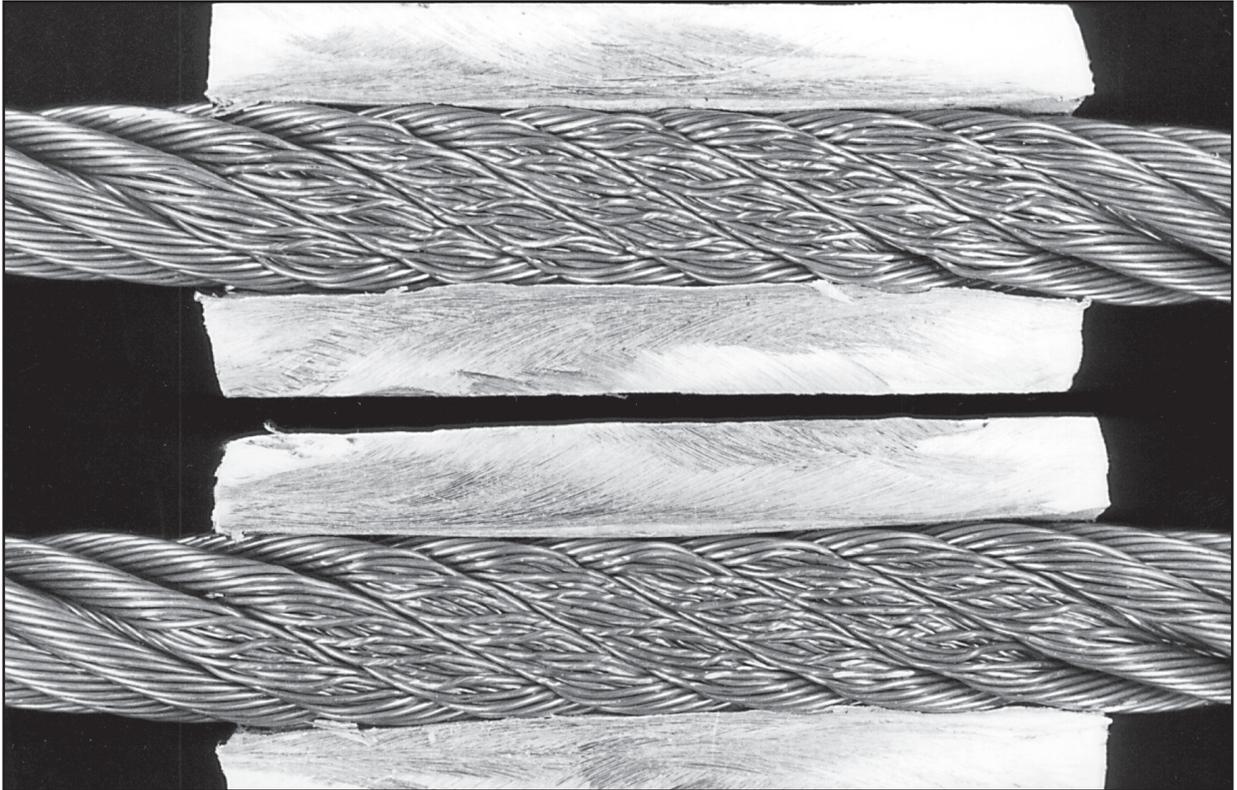


Fig. 45: Coupe d'un manchon - Zones de contact des deux brins d'un câble croisé

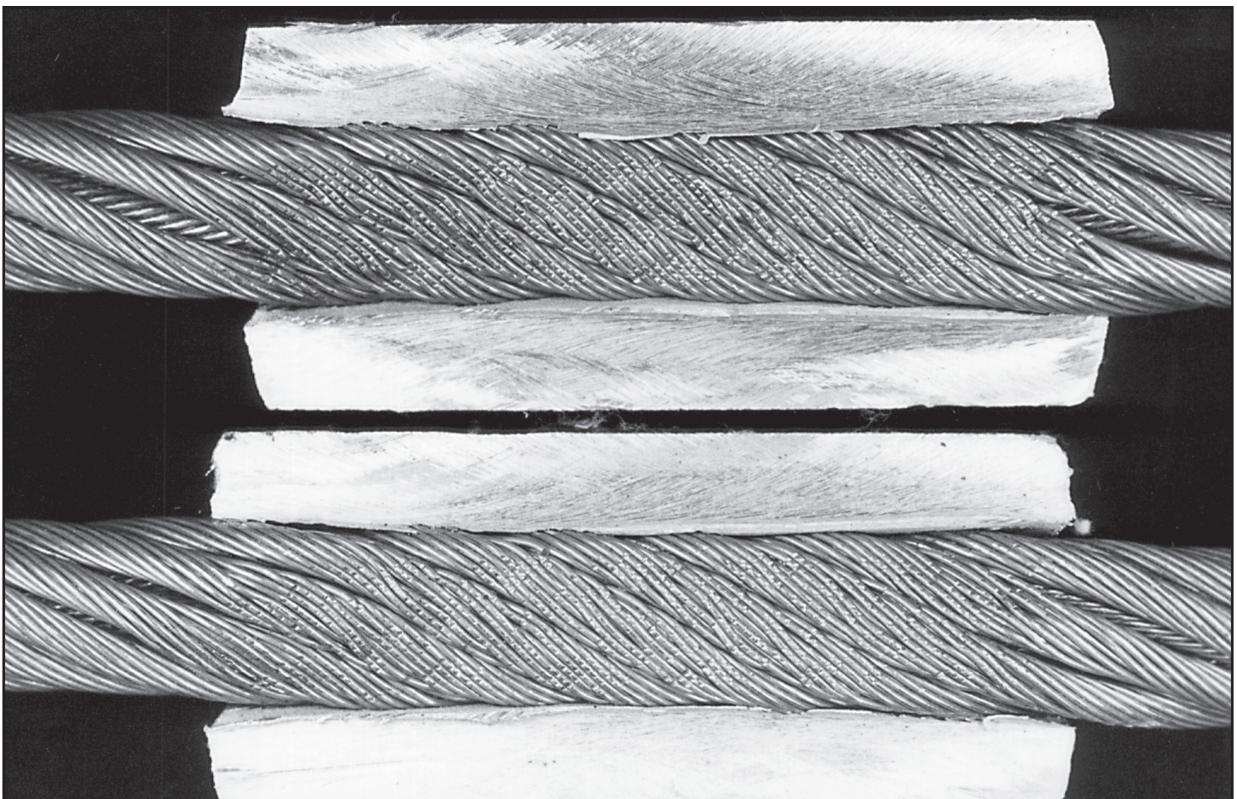


Fig. 46: Coupe d'un manchon - Zones de contact des deux brins d'un câble Lang

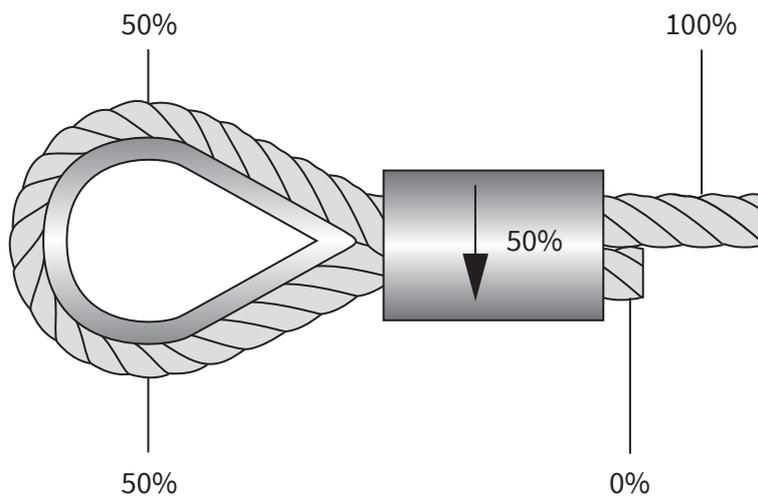


Fig. 47: Transfert des forces dans un manchonnage aluminium.

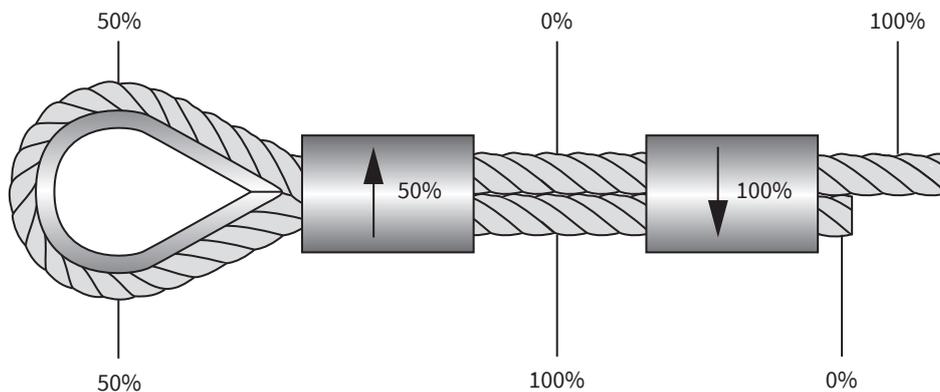


Fig. 48: Transfert des forces dans un manchonnage réalisé avec deux manchons



Fig. 49: Type de raboutage interdit

Quand un second manchon est installé dans l'environnement immédiat du premier, il est possible que le brin tendu soit légèrement plus long que le brin "mort", par exemple à cause de petits mouvements incontrôlables pendant l'opération de sertissage. Les forces transiteront donc par cette section de brin "mort". Un des manchons devra alors transmettre, non plus 50% de la charge, mais 100% (Fig. 48). Ce manchon ne pourra pas supporter les sollicitations générées par les grandes charges. C'est pourquoi les montages avec deux manchons sont interdits pour les cas X et Y.

Les terminaisons de type Z ne concernent que les câbles monotorons qui sont des compositions rigides. Les risques de générer une différence de longueur entre le brin actif et le brin "mort" lors du sertissage n'existent donc pas. De plus ces torons, du fait de leur fort coefficient de remplissage, peuvent être soumis à des charges élevées; cependant du fait de leur surface plus lisse, leur capacité d'adhérence au niveau du manchon se trouve réduite. Le second manchon peut donc augmenter la sécurité.

Fig. 49 montre l'utilisation d'un manchonnage aluminium pour rallonger une élingue par raboutage. Dans ce cas le manchon doit également transmettre 100% de la charge. Ce type de montage n'est pas autorisé.

7.5. Contrôle

Lors de l'inspection initiale du manchon et de la boucle, leurs dimensions doivent être vérifiées afin de s'assurer de la conformité aux spécifications de la norme. Par la suite la surveillance portera sur les fils cassés, sur les fissures et sur les autres dommages physiques situés à proximité et au niveau du manchon aluminium (Fig. 50).

Comme le chargement de l'attache terminale s'effectue de façon décentrée, le manchon adoptera systématiquement une position légèrement inclinée. De ce fait, le manchon ainsi que le câble seront plus chargés du côté de la sortie du brin tendu que de l'autre. Par conséquent, des fissures et des fils cassés pourront apparaître dans cette zone. Au niveau de l'autre extrémité du manchon les deux brins de câbles auront tendance à s'écarter et ainsi à élargir le manchon. Ceci pourra conduire à l'apparition de fissures dans le manchon, d'autant plus si le manchonnage a été effectué trop près de la cosse, ou si la boucle est trop petite. Des fissures dans la partie conique d'un manchon de type C n'affectent pas la résistance à la rupture de la terminaison.

Lors de chaque inspection, il faut également vérifier si le brin "mort" a glissé. Lorsque ce type de terminaison est utilisé en milieu marin, il faut également contrôler le niveau de corrosion du manchon. Fig. 51 montre un manchon aluminium corrodé.

7.6. Exécutions spéciales

Les fournisseurs offrent un nombre trop important de variétés de ce type de terminaison pour que l'on puisse les exposer ici.



Fig. 50: Endommagement d'un manchon aluminium



Fig. 51: Manchon aluminium corrodé

8. "The Flemish Eye" / L'Œil Flamand

L'Œil Flamand est un type de terminaison relativement récent. Il consiste en la combinaison d'une épissure et d'un manchon. Il est principalement utilisé en milieu sidérurgique où les câbles sont exposés à des hautes températures et où il remplace les cosses épissurées.

8.1. Charge de rupture, endurance sous sollicitations en traction et conditions de température

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison de type Œil Flamand supportera entre 80% et 100% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison supportera en moyenne 70% du nombre de cycles qu'aurait supportés une attache par culot métallique (voir annexe A).

Les terminaisons de type Œil Flamand peuvent être utilisées entre -60°C et $+400^{\circ}\text{C}$. Pour les températures comprises entre $+250^{\circ}\text{C}$ et $+400^{\circ}\text{C}$ la charge de rupture du câble doit être réduite de 25%.

8.2. Normalisation

La norme EN 13411-3, § 5.3.3.1 est la norme de référence pour l'Œil Flamand réalisé avec un manchon acier. Les différents types d'Œil Flamand sont identifiés de la façon suivante: Œil Flamand sans cosse (Type PF), et Œil Flamand avec cosse (Types PFKF et PFKV) (voir Fig. 52).

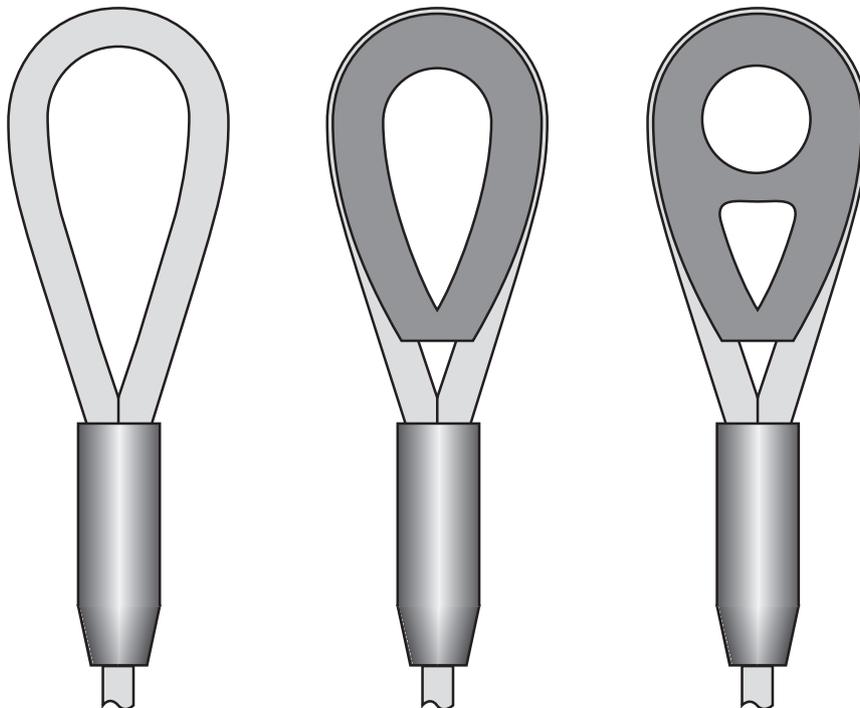


Fig. 52: Différents types d'Œil Flamand

8.3. Mode de fonctionnement

Même sans serrage, l'Œil Flamand transmet jusqu'à 70% de la charge de rupture du câble utilisé. Ce résultat est obtenu juste par frottement entre les fils constituant le câble. On améliore ensuite ce résultat par les effets du frottement et de l'indentation générés lors du sertissage du manchon.

8.4. Fabrication / Mise en place

Il faut dans un premier temps décider si l'âme doit ou non être intégrée avec les torons extérieurs dans la partie sertie. Si elle l'est, il faudra alors utiliser un manchon de type A selon EN 13411-3. Dans le cas contraire un manchon de type B doit être utilisé. Ces deux types sont disponibles en exécution cylindrique et cylindrique-conique. Cette dernière lui évite de s'accrocher lorsqu'on la tire, ce qui s'avère d'un grand intérêt quand, par exemple, une élingue est récupérée en dessous d'une charge.

L'inconvénient est qu'il est alors plus difficile d'en faire l'inspection.

Premièrement le câble, dans son état initial, est passé au travers du manchon acier sélectionné. Ensuite les torons externes du câble sont détoronnés et séparés en deux parties de la longueur désirée (Fig. 53 étape B). La longueur du câble doit alors être choisie en fonction de la longueur de la boucle que l'on veut réaliser. Pour un Œil Flamand sans cosse (type PF) la longueur de la boucle doit être de trois fois le diamètre de l'axe de fixation, et dans tous les cas d'au moins vingt fois le diamètre du câble (Fig. 54). Pour la fabrication d'un Œil Flamand avec cosse (Types PFKF ou PFKV), la longueur de câble décâblée doit être d'au moins quatre fois le pas de câblage.

L'âme du câble est fléchie pour former une boucle. Les deux demi-moitiés de câble décâblées sont alors recâblées autour de l'âme. Ainsi, par exemple, l'âme d'un câble huit torons est enroulée depuis la droite et depuis la gauche respectivement avec quatre torons jusqu'à ce que les torons de chacune des extrémités se rejoignent au sommet de la boucle. A partir de ce point, le recâblage des torons de chacune des extrémités reconstitue le câble au niveau de la boucle.

Une fois que les torons externes du câble ont été complètement recâblés autour de l'âme (Fig. 53 étape D), ils sont tous enroulés plus en avant autour de la partie du câble non détoronnée en dessous de la boucle. Le manchon métallique est alors glissé au-dessus de l'extrémité des torons puis pressé en plusieurs étapes selon les spécifications de la norme. Si un manchon métallique de type B est utilisé, il faut s'assurer avant de commencer le serrage que l'âme métallique ne pénètre pas dans la zone à sertir.

Selon une procédure modifiée, l'âme est tout d'abord séparée en deux parties, puis enroulée autour du toron central qui a été formé en boucle. Ensuite les torons extérieurs, comme pour un Œil Flamand classique, sont enroulés autour de l'âme. Finalement les extrémités des torons extérieurs sont serrées dans le manchon métallique.

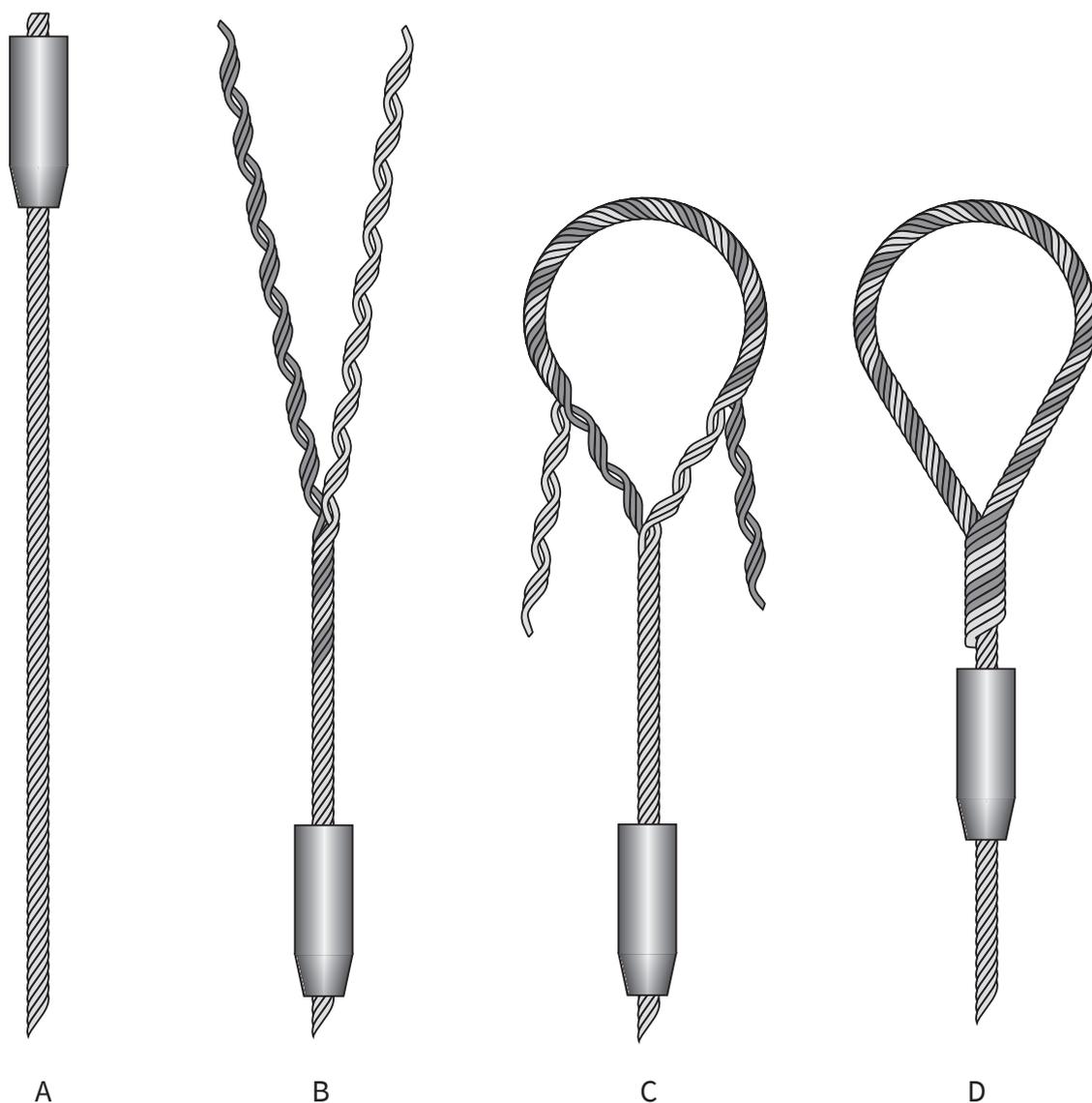


Fig. 53: Fabrication d'un Œil Flamand

Ce manchon doit comporter un marquage lisible et indélébile mentionnant le nom, le symbole ou la marque du fabricant, ainsi que le code de traçabilité qui identifie le manchon avec son certificat.

8.5. Contrôle

L'inspection des Œils Flamands réalisés avec des manchons cylindriques – coniques est difficile car un déplacement des torons à l'intérieur du manchon ne peut pas être détecté. Pour les Œils Flamands de type PFKV avec manchon cylindrique, l'extrémité des torons dépasse du manchon. Il est ainsi légèrement plus facile de détecter le glissement d'un toron. Sur les Œils Flamands il faut rechercher les ruptures de fils, plus particulièrement autour du manchon.

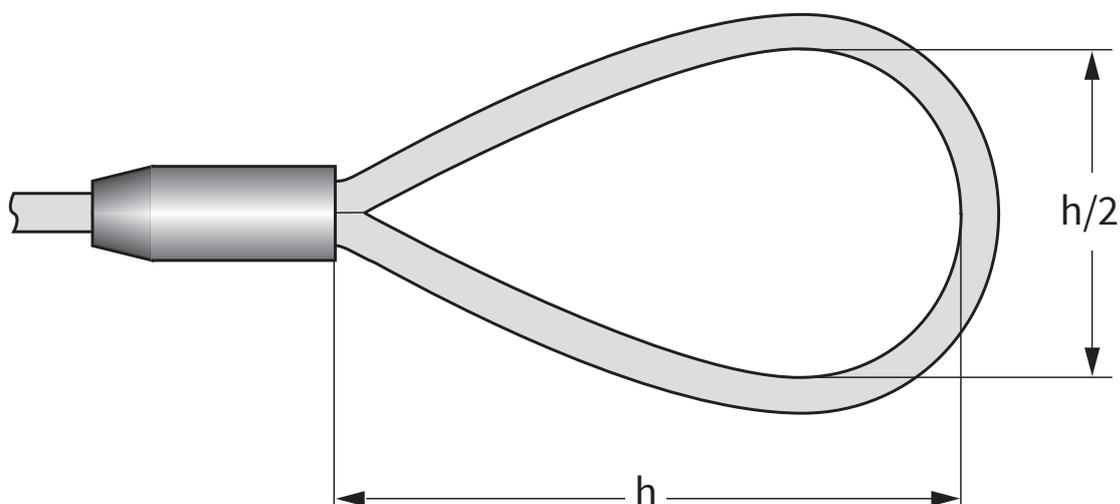


Fig. 54: Dimensions de la boucle

8.6. Exécutions spéciales

L'Œil Flamand peut également être réalisé avec un manchon aluminium. Cette variante, qui n'est couverte par aucune norme reconnue, donne également de bons résultats. Elle ne doit cependant pas être utilisée pour des applications avec de hautes températures.

Un fournisseur canadien offre une variante de l'Œil Flamand pour laquelle la fermeture de la boucle est réalisée par un culot à la résine plutôt que par un manchon acier. Une fine enveloppe en aluminium est placée au niveau de l'extrémité des torons une fois la boucle constituée. Elle est par la suite remplie avec une résine bi-composants. Cette variante n'est également pas adaptée pour les applications avec de hautes températures, mais elle présente l'avantage de pouvoir être fabriquée manuellement, sans l'aide d'une grosse presse, directement sur le site du chantier de construction, ou sur la plate-forme de forage. Pour ce genre de variante de l'Œil Flamand, de très bons résultats sont obtenus en matière de résistance à la rupture sous des chargements quasi statiques.

9. La douille à sertir

La douille à sertir est une terminaison qui est constituée par un manchon qui, une fois glissé sur l'extrémité du câble, est sertie sur ce câble par pressage, par roulage ou par martelage (Fig. 55). Ses principaux avantages sont sa facilité de fabrication et le fait que la charge est introduite dans l'axe du câble. La douille à sertir est utilisée aussi bien avec des câbles de petit diamètre (câbles d'aviation ou câbles en acier inoxydable pour les applications marines et architecturales) que comme attache terminale des câbles de suspension et des câbles de levage des grues et des ponts roulants.



Fig. 55: Douille à sertir

9.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitations en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison par douille à sertir supportera, en fonction de son type et de son installation, entre 90% et 100% de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction, ce type de terminaison supportera en moyenne environ 75% du nombre de cycles qu'aurait supporté une attache par culot métallique. Les attaches serties par roulage supportent un nombre de cycles au moins égal à celui qu'aurait supporté une attache par culot métallique (voir annexe A).

9.2. Normalisation

Les terminaisons par douille à sertir sont couvertes par la norme EN 13411-8. Pour être qualifiée une terminaison avec douille à sertir doit pouvoir supporter sans glisser un effort d'au moins 90% de la charge de rupture minimale du câble.

Après 75.000 cycles de traction entre 15% et 30% de la charge de rupture minimale du câble, l'attache doit avoir une résistance à la rupture d'au moins 80% de la charge de rupture minimale du câble.

9.3. Mode de fonctionnement

Le câble est inséré dans le trou creusé dans le corps de l'attache. L'attache est ensuite sertie sur le câble par pressage, roulage ou martelage. Le transfert des forces du câble sur l'attache terminale est essentiellement réalisé par indentation mécanique.

9.4. Fabrication / Mise en place

Il y a une grande variété de douilles à sertir sur le marché. La Fig. 56 montre une douille à œil, une douille à chape femelle, une terminaison filetée et une autre incluant une tête sphérique.

Avant d'introduire le câble, il est très important de s'assurer que le trou creusé dans le corps de l'attache est vide de bavures ou de copeaux. Si le trou n'est pas totalement libre, le câble ne pourra alors pas être positionné assez profond, et l'attache pourra donc être sertie dans une mauvaise position. Une introduction à l'intérieur du trou sur une longueur comprise entre quatre et six fois le diamètre du câble constitue la règle.

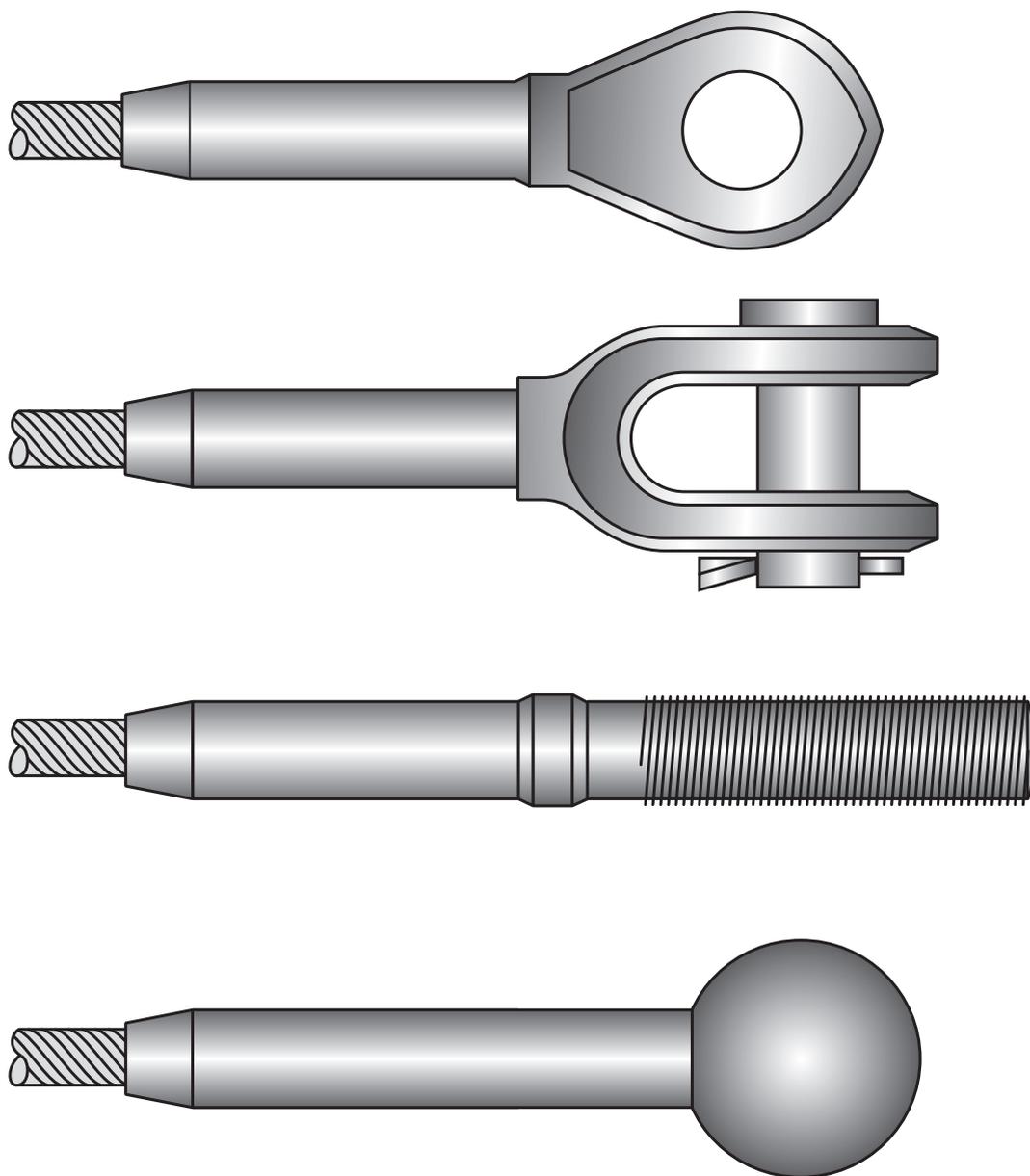


Fig. 56: Différents types de douille à sertir

Afin de pouvoir contrôler que le câble est réellement introduit assez profond dans la douille, on peut au préalable, en maintenant le câble allongé le long de l'attache, repérer la longueur par une marque. Le câble est alors introduit aussi profond que possible dans l'attache. La marque de crayon doit alors être très proche de l'extrémité de la douille. Le manchon est finalement pressé selon deux plans perpendiculaires à l'aide soit d'une presse à genouillère, soit d'une presse hydraulique (Fig. 57).

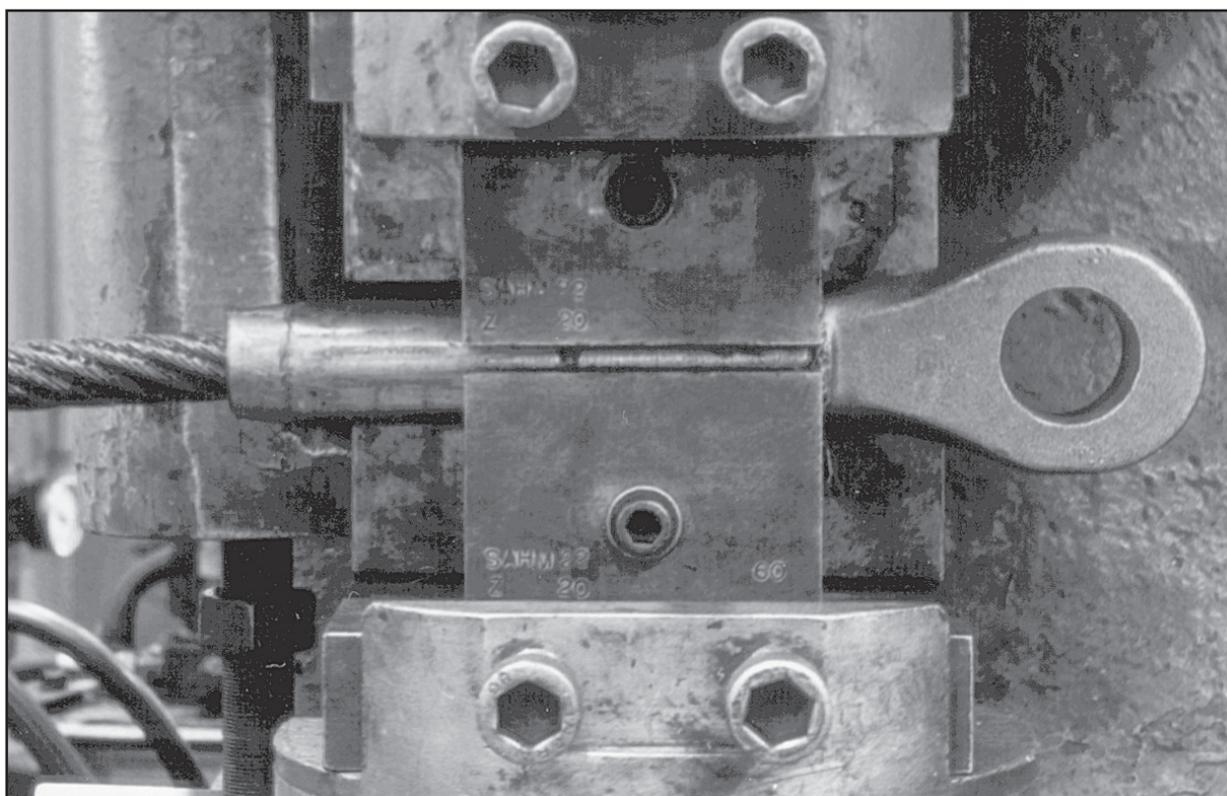


Fig. 57: Douille en cours de sertissage

Lorsqu'il est pressé par une sertisseuse rotative, le manchon est frappé par deux ou quatre marteaux à des intervalles de temps très courts (Fig. 58). Pour éviter aux marteaux d'agir toujours sur les mêmes zones de l'attache, celle-ci doit être à la fois tournée sur 90° et déplacée longitudinalement.

Normalement les producteurs de manchons spécifient les valeurs admissibles en matière de diamètre de câbles ainsi que de diamètre du manchon dans son état libre et dans son état serti. Le diamètre de la douille se réduira de 15% à 20% pendant l'opération de sertissage. L'obtention d'un bon diamètre après sertissage est reconnu comme preuve de la réussite de l'opération.

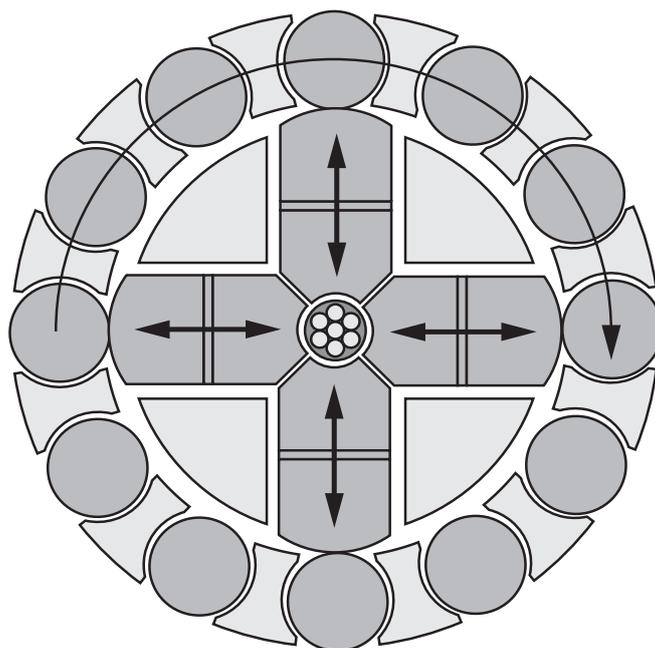


Fig. 58: Coupe schématique d'une presse rotative pour le sertissage des douilles

S'il faut justifier de la résistance du manchon après sertissage, on peut utiliser la formule du Dipl. Ing. Hemminger, de l'université de Stuttgart qui permet le calcul du diamètre minimum du manchon après sertissage.

Dans cette formule

$$D_{\min} = d \sqrt{\frac{f R_{p \text{ câble}}}{R_{p \text{ manchon}}} + 1}$$

- d indique le diamètre nominal du câble
- f indique le coefficient de remplissage du câble
- R_p câble indique la limite de rupture du matériau constituant le fil du câble
- R_p manchon indique la limite de rupture du matériau constituant le manchon.

Selon Hemminger, pour des câbles de diamètre réel compris entre le diamètre nominal +0% et le diamètre nominal +5%, le diamètre du trou du manchon non serti doit être au maximum égal au diamètre nominal du câble majoré de 10%. Les câbles huit torons sur âme en fibre ne doivent pas être utilisés avec des douilles à sertir. Pour les câbles six torons sur âme en fibre, l'âme doit être enlevée sur une longueur correspondant à celle du manchon, puis remplacée par un morceau de toron externe d'une longueur équivalente.

9.5. Contrôle

La douille à sertir doit être contrôlée vis-à-vis des fissures et autres dommages physiques proche de la zone de sertissage. De plus, le câble doit être contrôlé vis-à-vis de la corrosion ou d'éventuels fils cassés à la sortie du manchon.

9.6. La sertisseuse à rouleaux

Les douilles à sertir peuvent également être serties sur un câble par roulage. L'avantage de ce mode opératoire est que le manchon n'est pas comprimé sur toute sa longueur en une seule fois. Au contraire, les rouleaux pressent successivement de petites portions de manchon (Fig. 59). Ainsi la force nécessaire au sertissage est relativement faible, et ces machines peuvent être compactes et transportables (Fig. 60).

Dans le cas du sertissage par roulage, la terminaison peut être fabriquée directement sur le site du chantier ou sur la plate-forme de forage. Ceci est particulièrement intéressant quand la longueur exacte du câble ne peut pas être déterminée avant sa mise en œuvre. C'est pourquoi ces machines sont très utilisées pour la fabrication de haubans dans le domaine de la construction navale.

La compacité de la machine n'est pas le seul avantage du sertissage par roulage. Quand le manchon est soit pressé, soit martelé sur le câble, l'acier de la douille est repoussé dans les vallées libres entre les torons externes du câble. Il en résulte une indentation mécanique entre le manchon et le câble. Lorsqu'il ne reste plus de place dans ces vallées, la résistance à la compression augmente, et le manchon s'allongera.

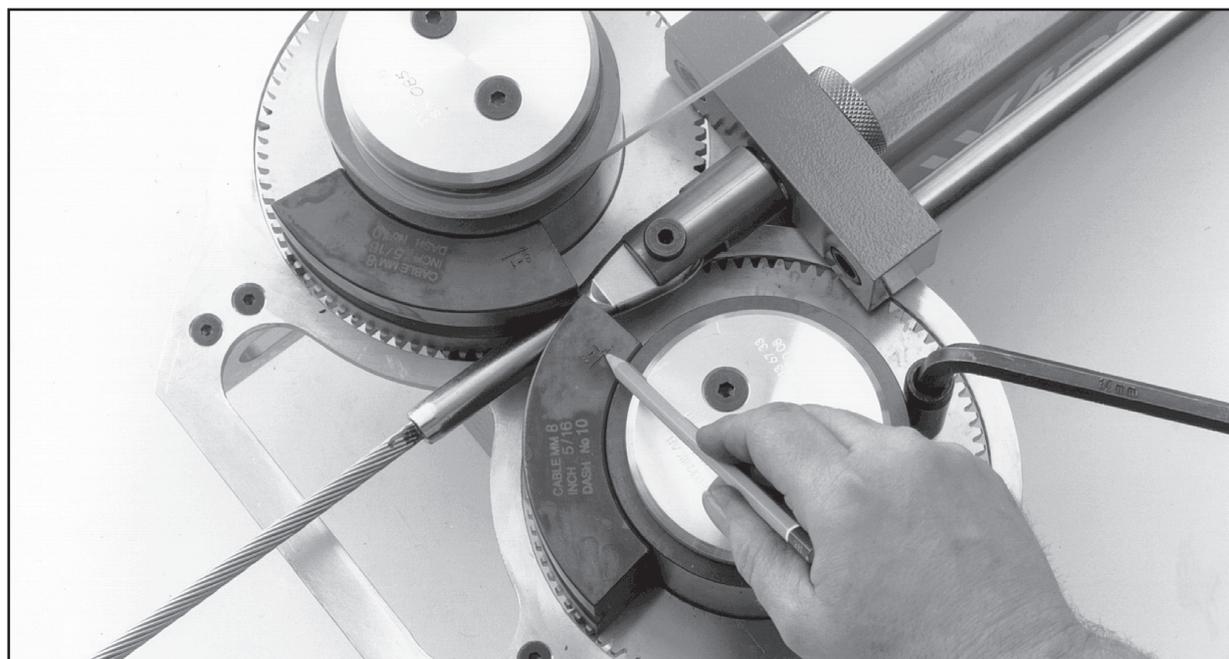


Fig. 59: Pressage successif de petites parties de la terminaison – Début de l'opération



Fig. 60: Sertisseuse à galets, compacte et transportable

Comme le manchon a été sévèrement indenté dans le câble, le câble est donc forcé de suivre l'allongement du manchon. C'est pourquoi, le câble - même non tendu - supporte non seulement d'énormes forces de pression mais également des forces de traction significatives au niveau de la zone du sertissage.

Ce n'est pas le cas pour les terminaisons réalisées par roulage, car le manchon est comprimé et allongé petit à petit. L'allongement du manchon peut s'effectuer intégralement le long de la partie de câble pas encore pressée. De ce fait le sertissage du manchon est réalisé sans trop allonger le câble. C'est pour cette raison que les attaches serties par roulage supportent un nombre de cycles de fatigue en tension considérablement plus important que celui supporté par une attache sertie de façon conventionnelle.

Il y a deux types de machine de sertissage par roulage sur le marché. Un type comprime la terminaison au moyen de deux galets motorisés. Le manchon se comporte comme la pâte à gâteau le fait lorsqu'on l'étale avec un rouleau. Il a donc tendance à s'enrouler autour d'un des deux galets. Il en résulte une terminaison incurvée qui pourra se fissurer sous l'action de contrainte de fatigue en traction.

Avec l'autre type de machine, la terminaison est tirée au moyen d'un vérin hydraulique au travers d'une paire de rouleaux non motorisés mais synchronisés mécaniquement grâce à un couple de roues dentées (Fig. 59). Durant toute la procédure de sertissage, la force de traction est appliquée dans l'axe de l'attache. Il en résulte une terminaison parfaitement rectiligne.

9.7. Exécutions spéciales

Il existe sur le marché une grande variété de conceptions particulières de douilles à sertir. Dans tous les cas les instructions du fabricant doivent être soigneusement étudiées et strictement respectées.

10. Le culot métallique

Le culot métallique est une terminaison très fiable et très efficace. Lors d'un essai de traction il procure la plus grande résistance à la rupture de tous les types de terminaison. De plus, son endurance sous chargement de fatigue en traction est excellente. Il s'impose donc pour toutes les applications où la perte de résistance générée par la terminaison doit être prise en compte lors de la sélection du diamètre du câble. Il est également utilisé pour les applications qui sollicitent fortement la terminaison en fatigue de traction. C'est par exemple le cas des câbles de suspension des grues à flèches (Fig. 61) ou le cas des structures métalliques (Fig. 62).



Fig. 61: Câbles de suspension pour grues à flèche treillis

10.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitations en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison par culot métallique supportera l'intégralité (100%) de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison supportera le plus grand nombre de cycles de tous les types de terminaison (voir annexe A).

Pour les câbles avec une âme en fibre les températures sont limitées de -40°C à $+80^{\circ}\text{C}$, pour les câbles avec une âme métallique et pour les câbles spiroïdaux les températures sont limitées de -40°C à $+120^{\circ}\text{C}$.

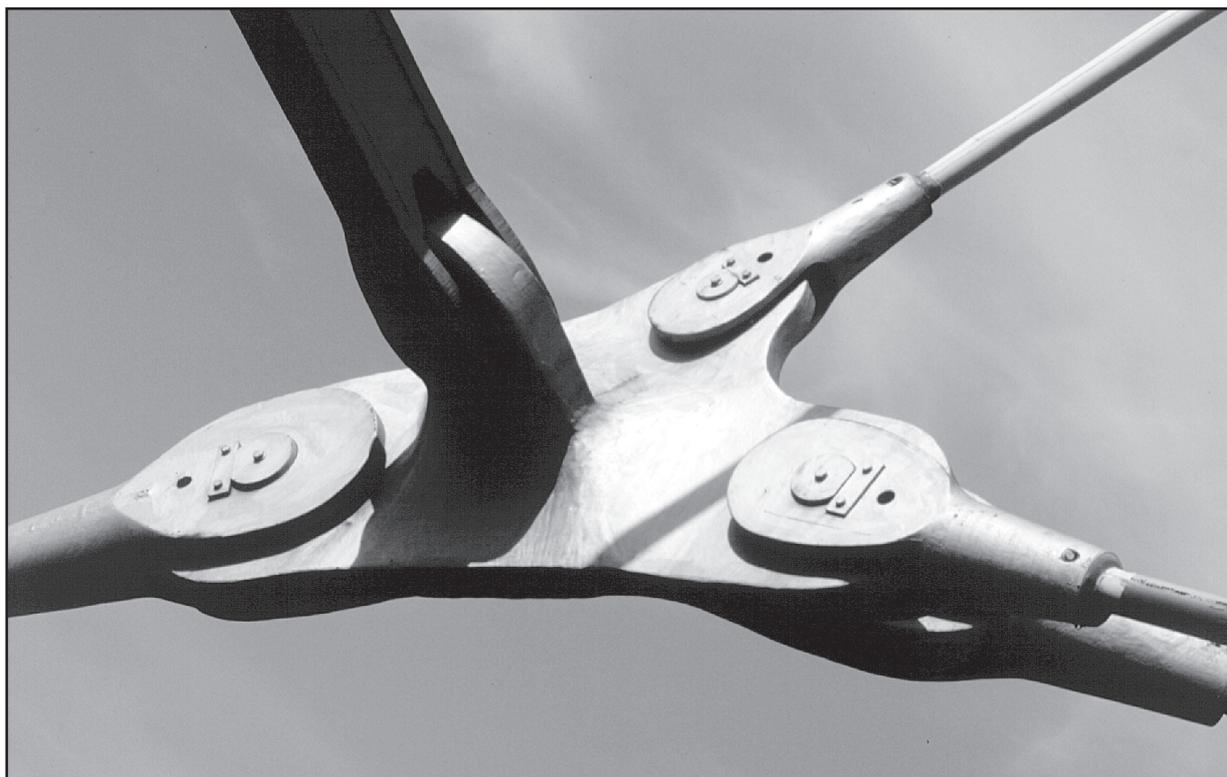


Fig. 62: Câbles de suspension pour structures

Pour les matériaux de remplissage à base de plomb les températures sont limitées de -45°C à $+80^{\circ}\text{C}$ pour tous les types de câble métalliques (attention: l'utilisation des matériaux à base de plomb n'est pas autorisée dans tous les pays).

10.2. Normalisation

La norme EN 13411-4. concerne le culot métallique utilisé en tant que terminaison (le culottage), donne les caractéristiques technique des douilles (le culot). La norme DIN 83 313 concerne une exécution particulière (ouverte ou fermée)

10.3. Mode de fonctionnement

L'extrémité du câble est ouverte et mise en forme de bouquet puis introduite dans la partie conique du corps du culot. Une fois en position, un cône inverse métallique est coulé, immobilisant le bouquet dans le corps du culot. Dès que la tension est appliquée, le cône métallique est tiré entraîné de plus en plus à l'intérieur du corps du culot, générant ainsi une force de serrage de plus en plus grande. Le transfert des efforts est réalisé par adhérence des fils du câble dans le cône métallique, résultant du blocage géométrique entre le cône métallique et le corps du culot. Ce blocage génère un effort de pression qui crée le frottement entre le fil et le cône coulé. Le mouvement étant initié, plus la tension augmente plus l'effort de serrage augmente.

10.4. Fabrication / Mise en place

10.4.1. Sélection du type de culot

Les culots pour câble métallique existent en deux types: ouvert et fermé.

Fig. 63 montre un culot ouvert selon la DIN 83 313. Ces culots présentent une partie conique destinée à recevoir le métal lors du coulage, ainsi que des oreilles percées pour recevoir l'axe.

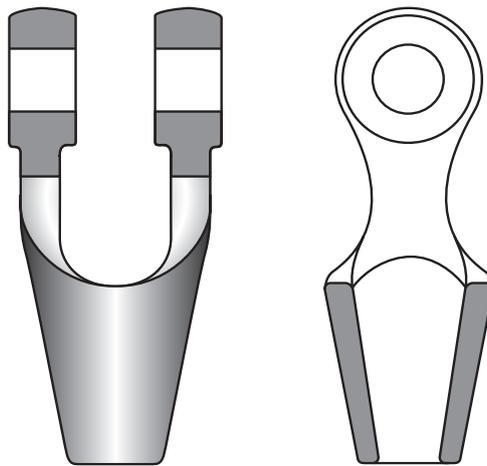


Fig. 63: Culot à chape femelle (DIN 83 313) (ouvert)

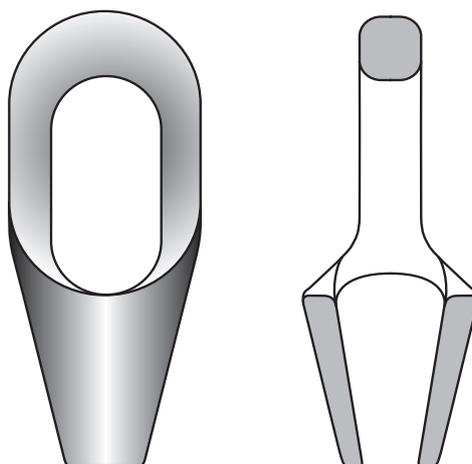


Fig. 64: Culot à anse (DIN 83 313) (fermé)

Les culots ouverts sont montés articulés autour de l'axe de fixation. Ils ne peuvent par contre pas suivre de déplacement du câble dans un plan perpendiculaire au plan de pivotement.

Fig. 64 montre un culot fermé selon la DIN 83 313. Ces culots présentent une partie conique destinée à recevoir le métal lors du coulage, ainsi qu'une anse destinée à recevoir l'axe de fixation. Le culot fermé est monté libre de pivoter autour de son axe de fixation.

Si la surface de contact de l'anse est conçue selon le dessin Fig. 64, le culot aura la possibilité, dans une certaine limite, de suivre un déplacement dans un plan perpendiculaire au plan de pivotement principal. Les culots ne sont pas seulement utilisés pour la fixation de câbles sur des éléments de structure. Ils sont également utilisés pour relier deux câbles entre eux, comme par exemple pour ajuster la longueur des câbles de suspension d'une grue à flèche. Dans ce cas la connexion intègre toujours un culot ouvert et un culot fermé.

Selon la norme EN 13411-4, la partie conique du culot doit avoir une longueur de 4 fois le diamètre nominal du câble ou de 50 fois le diamètre du fil extérieur du câble pour les constructions avec moins de 50 fils. Pour les câbles spiroïdaux la partie conique du culot doit avoir une longueur de 5 fois le diamètre nominal du câble ou de 50 fois le diamètre du fil extérieur du câble. L'angle du cône doit être compris entre $9,5^\circ$ et 18° .

Selon la DIN 83 313, la partie conique du culot doit avoir une longueur de 5 fois le diamètre nominal du câble, et une pente de 1 pour 3, ce qui correspond à un angle de $18,4^\circ$.

10.4.2. Le problème du couple de giration du câble

Pour des tensions identiques, le couple de giration naturelle d'un câble augmente linéairement avec le diamètre du câble. A contrainte constante dans la section du câble, la tension évolue selon le carré du diamètre du câble. Par conséquent, le couple que le câble appliquera à sa terminaison évoluera selon le cube du diamètre du câble. Dans le même temps, la force de frottement entre le cône métallique coulé et le corps du culot n'évoluera que proportionnellement avec la tension donc avec le carré du diamètre du câble. Quelles en sont les conséquences?

Par exemple, un câble de 10 mm de diamètre avec un facteur de couple de 0.1, tendu sous 20.000 N exercera un moment de 20 Nm sur sa terminaison. Les forces de frottement entre le cône coulé et le corps du culot s'opposeront à la rotation du câble et transmettront ce moment au culot. A son tour, le culot va transmettre ce moment à la structure d'ancrage sur laquelle il est attaché.

Si un câble de même conception, mais d'un diamètre six fois plus important, est chargé sous le même pourcentage de sa charge de rupture, la tension sera multipliée par 36 et atteindra le chiffre de 720.000 N. Pendant ce temps le moment va subir une évolution importante pour atteindre le chiffre de 4.320 Nm. Une augmentation du diamètre du câble par un facteur 6 générera une augmentation du moment par un facteur 216!

Cette importante augmentation non linéaire du moment ne doit pas seulement être prise en compte pour la conception de la zone de fixation du culot sur la structure. Elle doit également être prise en considération pour la conception du corps du culot lui-même. Le couple cherchant à faire tourner le câble par rapport au corps du culot aura été multiplié par un facteur 216. Les forces de frottement au niveau du cône coulé, qui sont supposées prévenir la rotation du câble par rapport au corps du culot, n'auront été multipliées que par un facteur 36 (proportionnellement à la tension et au carré du diamètre du câble). Il y a dans ce cas le risque d'une rotation du cône coulé sous charge.

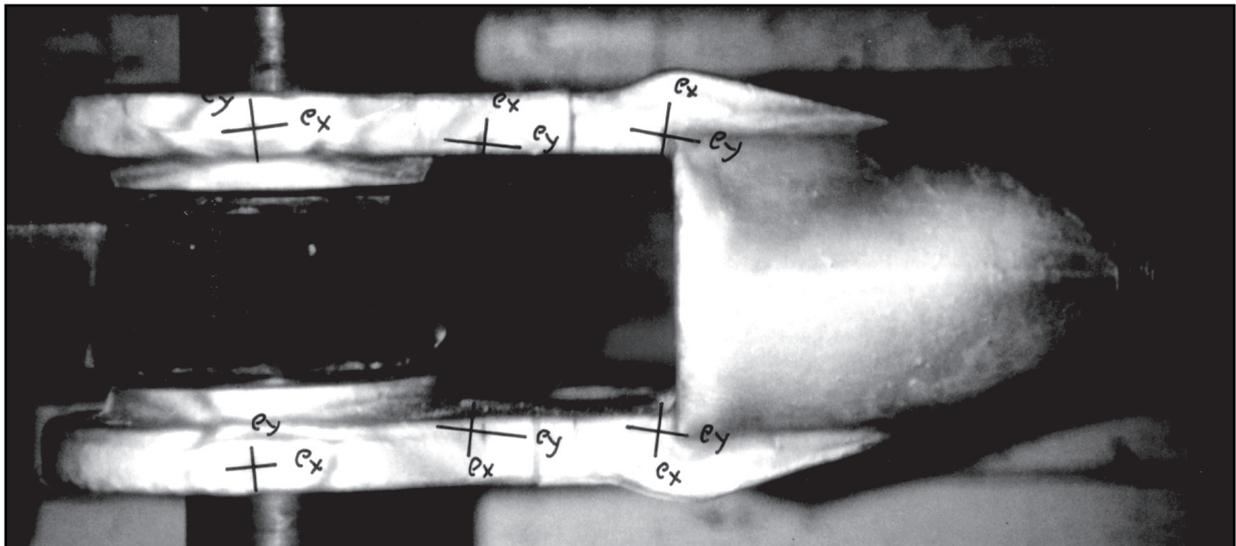


Fig. 65: Analyse par photo élasticité d'un culot ouvert

La Fig. 65 montre le résultat d'une analyse des contraintes par photoélasticité réalisée sur le culot d'une terminaison de câble. Une fine couche plastique déposée sur le corps du culot se déformera de la même manière que la surface du culot. Il est donc possible, par l'utilisation d'une lumière polarisante, de rendre visible les déformations des parties de la pièce sujettes à une grande tension et à un fort couple. Il apparaît clairement que le culot pourtant initialement parfaitement symétrique se déforme de façon non symétrique.

D'un côté, le couple augmente les déformations générées par les forces de traction, alors que de l'autre côté il les réduit.

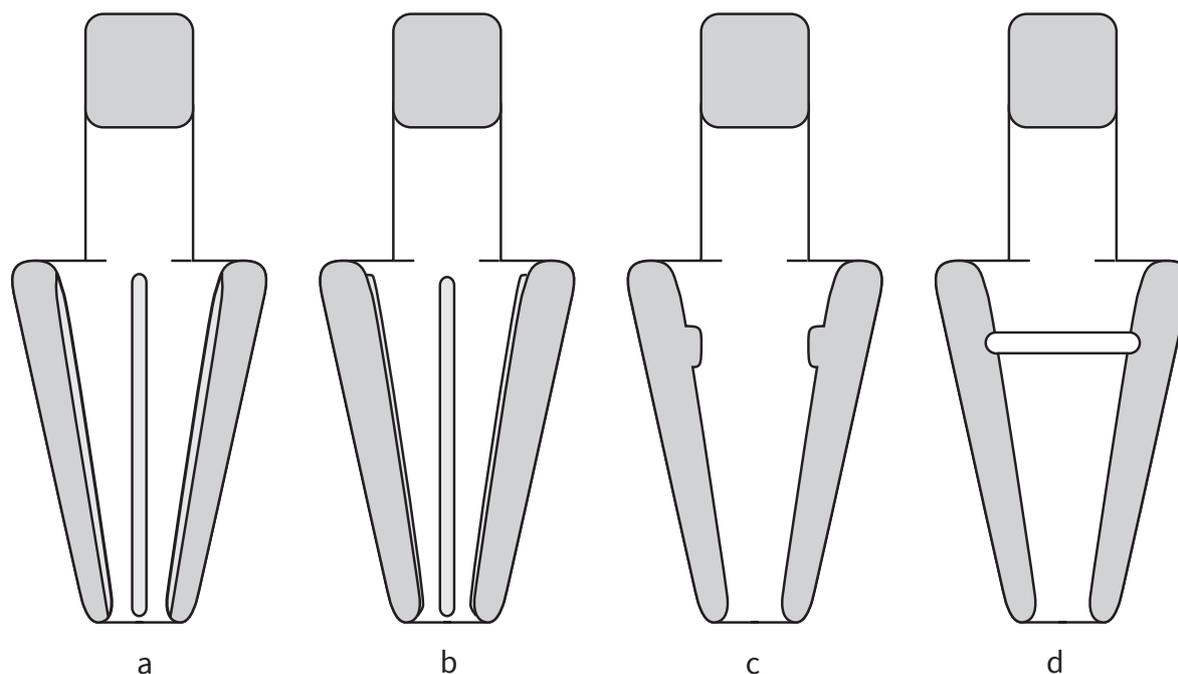


Fig. 66: Types de systèmes antirotation

Afin de prévenir la rotation du cône coulé, les culots pour les câbles de grand diamètre sont parfois fabriqués avec une forme ovale plutôt que ronde. Une autre solution consiste soit à usiner des gorges dans lesquelles le culot s'indentera (Fig. 66a), soit à créer des nervures sur lesquelles le métal du culot pourra s'appuyer (Fig. 66b). Ces rainures ou nervures doivent toutefois être réalisées longitudinalement afin de laisser au cône la liberté de s'enfoncer dans le corps du culot lors du chargement de l'attache (mise en place). Ce n'est que s'il a la possibilité de se déplacer et de se coincer que le cône pourra générer les efforts transversaux de serrage nécessaires au transfert de la charge.

La Fig. 66c montre un corps de culot muni de deux dents à l'intérieur. Ces dernières empêcheront la mise en place du cône. Ainsi lors d'un essai avec un culot de ce type pour un câble de grand diamètre, le cône coulé a été dans un premier temps tenu par cette nervure. L'effort de traction a été augmenté régulièrement. Subitement, le cône coulé s'est cassé au niveau de ces dents. La partie inférieure du cône a été libérée instantanément et s'est coincée brutalement au fond du corps du culot alors que le métal coulé sur la partie supérieure a été éjecté dans un bruit sourd.

La Fig. 66d montre un culot de conception américaine avec une gorge selon les spécifications "US Federal Specification RR-S-5500". Cette gorge qui n'empêche pas le culot de tourner, est sensée s'opposer à un déchaussement du culot en cas de perte soudaine de la tension. En fait elle empêche la mise en place du cône, ce qui signifie que ce cône ne fournira pas totalement le service attendu.

Certains fournisseurs ont trouvé une solution qui permet de fournir une terminaison qui fonctionne correctement, tout en répondant aux exigences des "US Federal Specification RR-S-5500". Ils ont donc conçu une gorge circulaire de dimension relativement faible. Ainsi, le matériau de coulée logé dans cette gorge se cisailera sous environ 5% de la charge de rupture du câble. Cette mise en place ne générera pas d'effet important car elle s'effectuera sous une faible charge. D'autres conceptions qui intègrent un trop grand nombre de gorges surdimensionnées empêcheront la mise en place du cône. Ainsi, soit le culot est utilisé sous une charge insuffisante pour rompre cet appui, et alors sa capacité sera réduite du fait de la non utilisation de l'effet de coin, soit le culot est soumis à une charge suffisamment importante pour rompre cet appui, et alors cette mise en place se fera avec un choc important.

10.4.3. Réalisation d'un culot

Un culot doit d'abord être soigneusement examiné avant d'être mis en place, afin de s'assurer qu'il est en parfait état. La Fig. 67 montre un défaut possible: la surface est endommagée au niveau d'une des oreilles de la chape. Le corps du culot étant réalisé en acier austénitique au manganèse, il doit être vérifié vis-à-vis des risques de changement de structure cristalline sous l'action de la température. Ce contrôle se fait à l'aide d'un aimant. Si le matériau a été trop chauffé, il devient magnétique et ne doit pas être mis en service. Avant d'être coupé à la longueur, le câble doit être ligaturé selon les règles de l'art, d'une part près de la zone de coupe (ligaturage supérieur) et d'autre part au niveau de la partie du câble qui sera située à la sortie du culot (ligaturage inférieur).



Fig. 67: Défaut de coulée sur un des bras de la chape d'un culot à chape femelle

Le câble doit être coupé sans soudure ni fusion. Il est ensuite introduit au travers du culot. Le ligaturage supérieur est alors enlevé. Chaque toron est ensuite décâblé jusqu'à la formation d'un bouquet (Fig. 68).

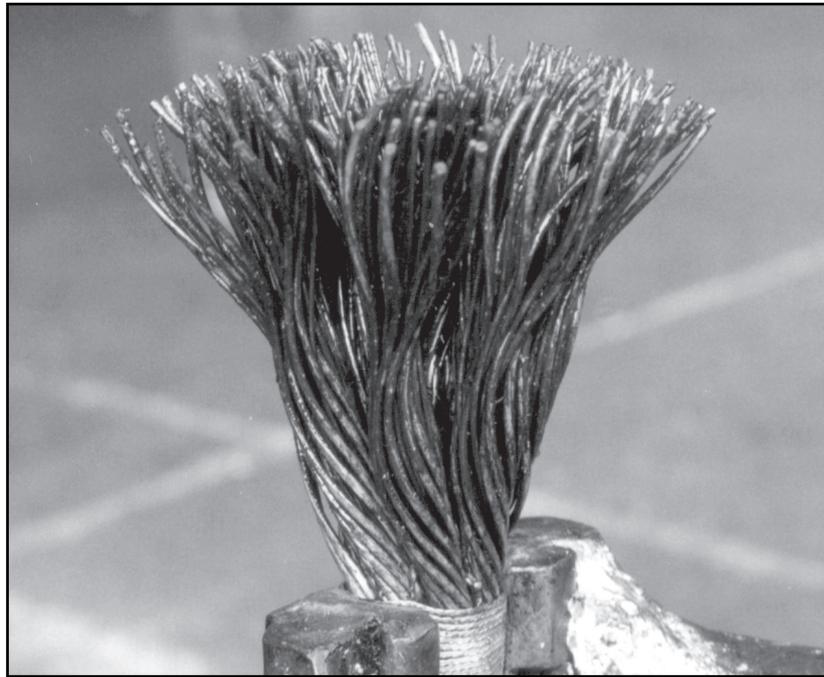


Fig. 68: Tête de câble mise en forme de bouquet par détournage des torons



Fig. 69: Séchage du bouquet

Si le câble dispose d'une âme métallique, elle doit être également ouverte. Si le câble dispose d'une âme en fibre ou d'une âme plastique compacte, l'âme doit être coupée à la hauteur du niveau supérieur du ligaturage inférieur.

Si le câble dispose d'une couche plastique intermédiaire, ce plastique doit également être coupé à la hauteur du niveau supérieur du ligaturage inférieur, puis enlevé pour permettre le décâblage de l'âme métallique.

Pour certaines applications, par exemple la Remontée Mécanique il est recommandé de recourber l'extrémité de tous les fils afin qu'ils aient la forme d'un crochet, mais cette méthode ne présente pas d'avantage. Si l'on utilise ce mode opératoire, le volume des fils est doublé au sommet du culot sans pour autant augmenter la résistance à la rupture de l'ensemble. En fait, cette augmentation de volume constituera un obstacle au passage du métal en fusion lors du coulage, et pourra empêcher un parfait remplissage du cône. De plus, pour le culottage d'un câble à fort coefficient de remplissage, le volume disponible du culot n'est souvent pas assez grand pour recevoir tous les fils recourbés.

Le bouquet est ensuite soigneusement nettoyé et dégraissé avec un agent dégraissant, par exemple Eskapon S 143. Les agents nettoyants toxiques aussi bien que ceux encourageant la corrosion ne doivent pas être utilisés.

Les fils nus non galvanisés sont alors traités avec un agent caustique par exemple Tego Roptin – un solvant au chlorure de zinc (étamage) pour rendre le fil plus rugueux afin d'augmenter la surface de contact avec le métal de coulée. Cette opération n'est pas nécessaire pour les fils galvanisés car la galvanisation a déjà préparé la surface du fil. L'acide chlorhydrique ainsi que tous les fluides de décapage puissants ne doivent pas être utilisés à cause du risque de pénétration de l'âme par un résidu de l'agent caustique, ce qui conduirait à une corrosion de l'intérieur du câble. En tout état de cause, toutes les précautions doivent être prises pour prévenir la pénétration des produits de décapage à l'intérieur du câble. Le bouquet est alors immergé dans un agent caustique jusqu'au maximum aux deux tiers de sa longueur avant d'être retiré puis séché (Fig. 69).

Le bouquet de fils non galvanisés est ensuite enrobé d'étain selon les prescriptions de la norme DIN 1707. La température d'étamage doit être comprise entre 280°C et 300°C. Pendant le dégraissage et l'enrobage la tête du câble doit toujours être inclinée vers le bas afin de prévenir toute pénétration de fluide à l'intérieur du câble.

Le bouquet est alors remis à l'intérieur du culot. Une bride est fixée sur le câble juste sous le culot. Ceci permet l'ajustement de la longueur du câble. La mise en place d'une butée juste dessous le culot protégera contre les risques de fuite excessive de métal de remplissage lors de la coulée.



Fig. 70: Ajustement de la position du corps du culot

Il est également indispensable de fixer le culot à une hauteur suffisante par rapport au sol. Le câble aura ainsi assez de place pour sortir du culot dans une position parfaitement rectiligne selon l'axe du culot. (Fig. 70). La Fig. 71 montre un câble qui a été coulé alors qu'il était décalé par rapport au culot. En appuyant la bride contre le corps du culot, on immobilise le bouquet qui ainsi ne bougera pas pendant le coulage.

Avant la coulée, environ 1.5 fois le volume nécessaire de métal de remplissage est chauffé jusqu'à la température prescrite. La température de coulage des matériaux de remplissage dépend de leur composition.

La Fig. 72 donne la valeur de la composition en pourcentage du poids, du point de fusion et de la température de coulée, pour les types de matériaux les plus couramment utilisés.

Pendant le processus de la coulée le métal en fusion risque de se solidifier prématurément, dès les parties hautes du culot, au contact des parties froides du corps du culot et des fils qui sont également froids.

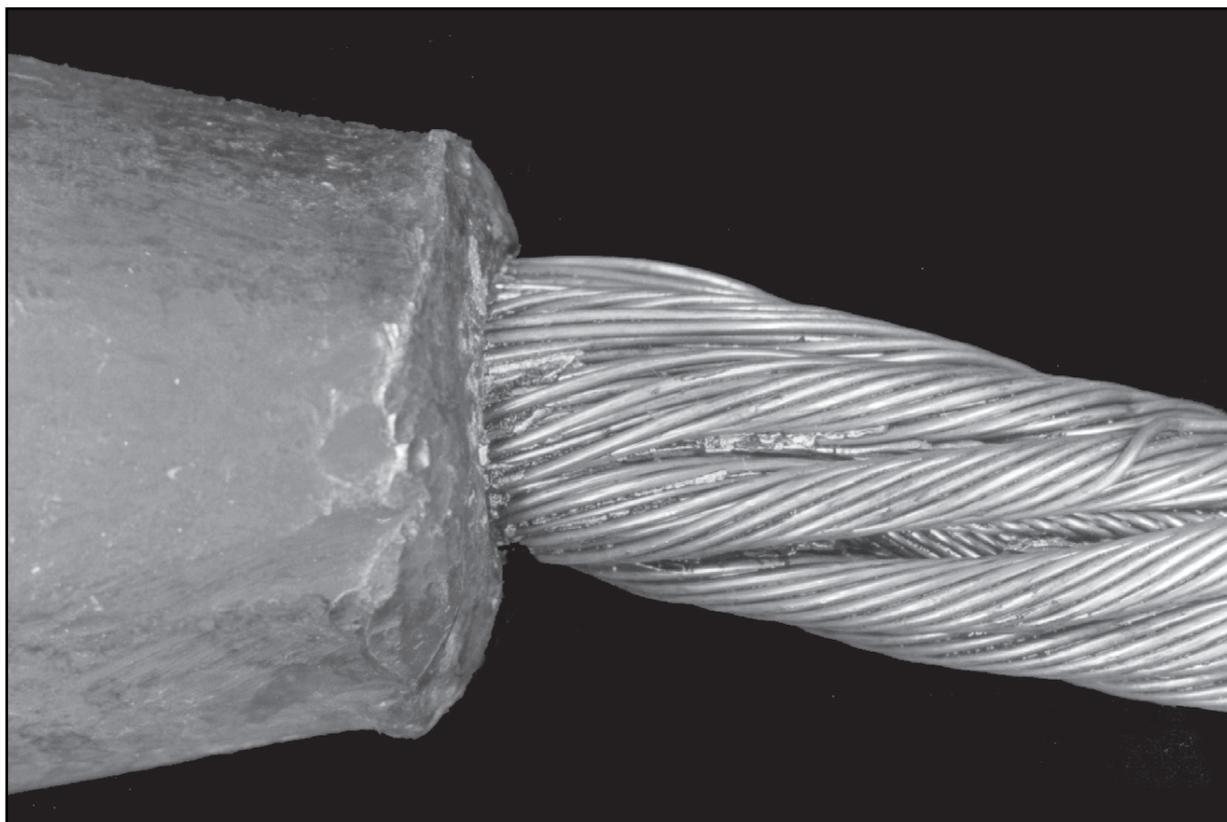


Fig. 71: Câble mal positionné avant la coulée

%	Tego VG 3	LgPb Sn 10	WM 20	LgSn 80	Plomb	Bi- Lot	Zinc	Zinc pur	ZnAl-6Cu1	Alliage de Zink	Alliage de Cadmium
Pb	77,0	73,5	64,0	2,0	87,0	32,0	max 2,4	-	-	3,0	-
Sn	10,0	10,0	20,0	80,0	13,0	15,0	-	-	-	3,0	0,2
Sb	10,0	15,5	14,0	12,0	-	-	-	-	-	1,6	0,3
Cd	2,0	(0,2)	-	-	-	-	-	-	-	-	65,4
Cu	0,5	1,0	2,0	6,0	-	-	-	-	1,4	-	-
As	0,5	(0,2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	97,5	99,99	92,6	92,4	34,0
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	-	-
Bi	-	-	-	-	-	53,0	-	-	-	-	-
Point de fusion [°C]	242	235-370	182-400	183-400	252	96	319-419	419	380	188-406	266-305
Temp. de coulée [°C]	320-350	420-450	440-450	440-460	320-350	125	450-480	450-480	420-450	450-480	360-380

Fig. 72: Composition, point de fusion et température de coulée des matériaux d'apport les plus courants.

Ceci pourrait empêcher une bonne pénétration du métal de coulée dans les parties basses du culot, et générer des poches d'air dans le cône coulé. Par conséquent, le culot doit être chauffé à une température proche du point de fusion du métal de coulée (voir Fig. 72). mais qui, en tout état de cause, ne dépassera pas 300°C afin de ne pas réduire la résistance des fils du câble. Il faudra également vérifier que cette température est en cohérence avec les traitements thermiques subis par le métal constituant le corps du culot. Cette opération de chauffage peut être réalisée avec des brûleurs réglables agencés sur un support annulaire (voir Fig. 73).



Fig. 73: Préchauffage du corps du culot

La température du culot doit être contrôlée à l'aide de thermocouple ou de crayon thermique qui change de couleur en fonction de la température atteinte.

Ensuite le processus de coulée commence. Le métal de coulée doit être introduit doucement et régulièrement dans le culot afin qu'aucune poche d'air ne puisse se former à l'intérieur (Fig. 74). La peau d'oxyde doit être éliminée.

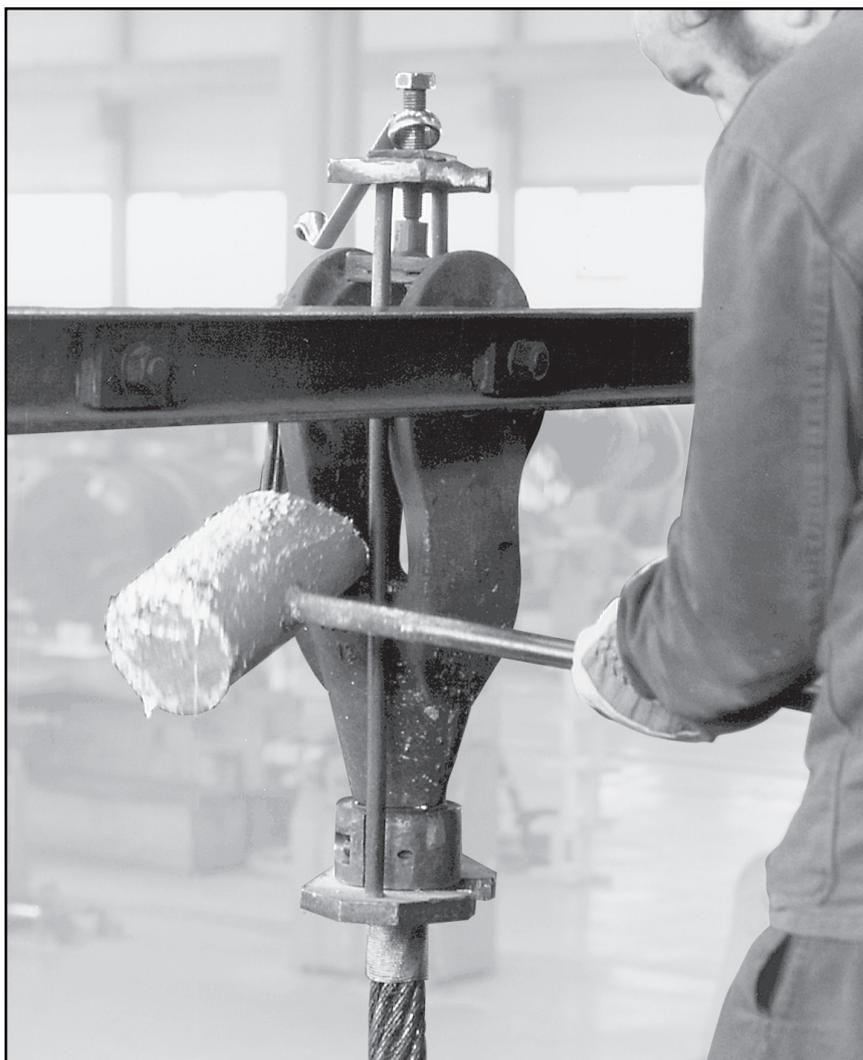


Fig. 74: Coulée lente et régulière du matériau d'apport

Si la forme de la butée positionnée sous le culot le permet, de faibles quantités de métal de coulée pourront passer au travers des creux existant entre les torons externes du câble. Ceci signifiera de façon claire que le métal en fusion a bien rempli le fond du culot.

Après la coulée, le sommet du culot doit être réchauffé au moyen de brûleurs afin de supprimer les éventuelles fissures de retrait. Ensuite, si nécessaire, un petit peu plus de métal sera coulé afin de remplir le culot jusqu'à le faire déborder. Finalement, les repères d'identification seront imprimés sur la surface visible du cône coulé à l'aide de poinçons en acier. Pour certains cas particuliers une étiquette comprenant les informations spécifiques pourra être coulée sur le sommet du cône.

Une fois que le métal de coulée s'est refroidi et solidifié, le ligaturage situé à la sortie du culot est enlevé. La partie du câble qui sort du culot peut alors être protégée contre la corrosion, soit à l'aide d'une peinture, soit par immersion du câble dans un agent antirouille ou relubrifiant.

10.5. Contrôle

L'inspection du culot concerne principalement la recherche de fissures, plus particulièrement dans la zone de l'anse ou des oreilles de la chape. La zone de câble qui quitte le culot doit être analysée du point de vue des fils cassés, des pliures et des variations du pas de câblage. Ceci est particulièrement vrai pour les câbles de suspension de flèche qui sont fréquemment démontés. Des fils cassés peuvent occasionnellement être trouvés au niveau de la sortie du culot ou le long des quelques premiers centimètres à l'intérieur. Ceci peut être causé soit par un endommagement du câble lors de sa manutention, soit par un manque de métal de coulée, soit par une relubrification insuffisante ou inappropriée. Ces parties doivent donc être inspectées avec un soin particulier. Quelques types de culots permettent de sortir le cône coulé, ce qui facilitera l'inspection.

Le corps du culot n'est pas systématiquement changé lors du remplacement du câble. Avant toute réutilisation, le culot doit être minutieusement inspecté pour ce qui concerne les dommages physiques ou les fissures.

10.6. Cas particuliers / Fabrications spéciales

En cas d'utilisation de câble antigiratoire, il est souvent recommandé d'installer un émerillon tournant entre la terminaison du câble et le point de fixation sur la structure. Mais la hauteur de levage de l'appareil sera réduite du fait de l'installation de l'émerillon. Il est dans ce cas recommandé d'utiliser un culot avec émerillon intégré (Fig. 75).

Ce type de terminaison ne réduit que marginalement la hauteur de levage et de plus apporte la garantie que l'émerillon sera toujours automatiquement aligné avec le câble.

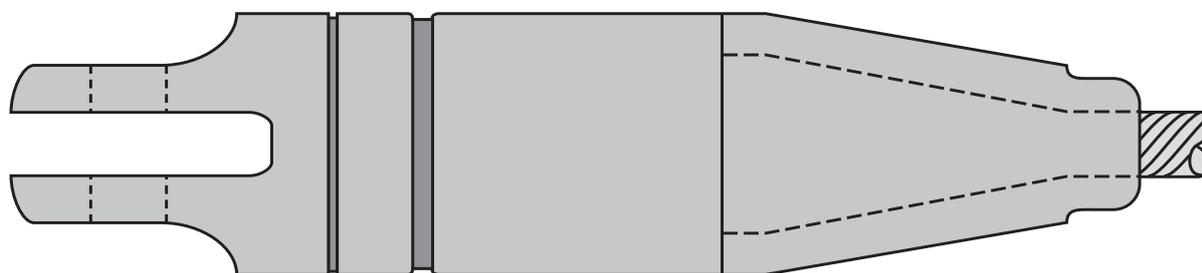


Fig. 75: Culot avec émerillon intégré.

10.7. Le culot en forme de poire ” piriforme ”

Il arrive que les terminaisons de câbles aient à passer sur des poulies ou des tambours. Dans ces cas, aussi bien la terminaison que les poulies ou les tambours doivent être spécialement conçus. Le système de raboutage de câble utilise deux culots en forme de poire et un anneau vissé (Fig. 76). Ce système de connexion de câbles peut passer sur des poulies spéciales sous-taillées disposant de deux gorges (Fig. 77). La première gorge est assez large pour laisser passer le culot et la seconde qui sous-taille la première reçoit le câble.

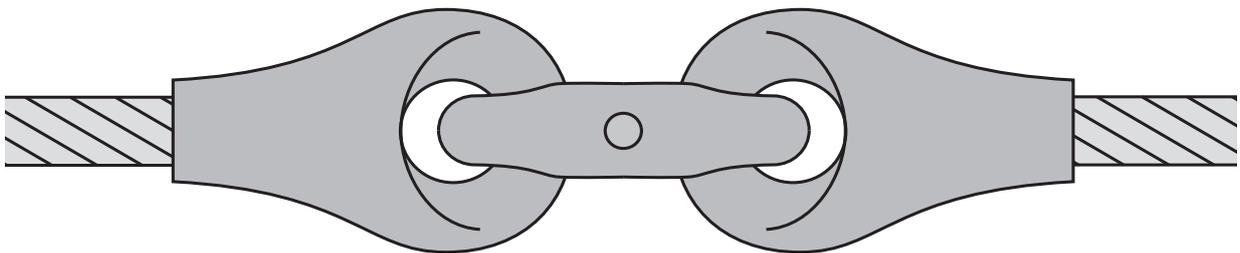


Fig. 76: Culot en forme de poire avec maillon

Ce système de connexion de câble est très avantageux si, par exemple, une petite longueur de câble atteint son critère de dépose bien avant le reste du câble. Il n'est plus indispensable de changer toute la longueur de câble car il est possible de ne remplacer que la partie usée. La section changée peut ainsi être raccordée à la partie de câble initiale non endommagée.

Les câbles de fermeture des grappins sur les grues de déchargement des cargos minéraliers sont un exemple typique de ce cas de figure. La faible longueur de câble travaillant dans le grappin supporte d'une part un grand nombre de flexions sur des poulies de faible diamètre et d'autre part l'usure générée par les particules dégagées lors de la manutention. Elle s'usera donc beaucoup plus rapidement que le reste du câble qui travaille dans des conditions beaucoup plus favorables.

Dans ce cas, non pas tout le câble de fermeture, mais seulement la longueur de câble située dans le grappin doit être remplacée.

La Fig. 77 montre une connexion réalisée avec des culots en forme de poire alors que le câble est enroulé sur le tambour d'un treuil.

Le système de jonction des câbles doit s'adapter au rayon de courbure de la poulie ou du tambour. Il doit donc d'une part être de faible longueur et d'autre part avoir une forme qui permette de suivre la courbure de la poulie ou du tambour sur lequel il s'enroule.

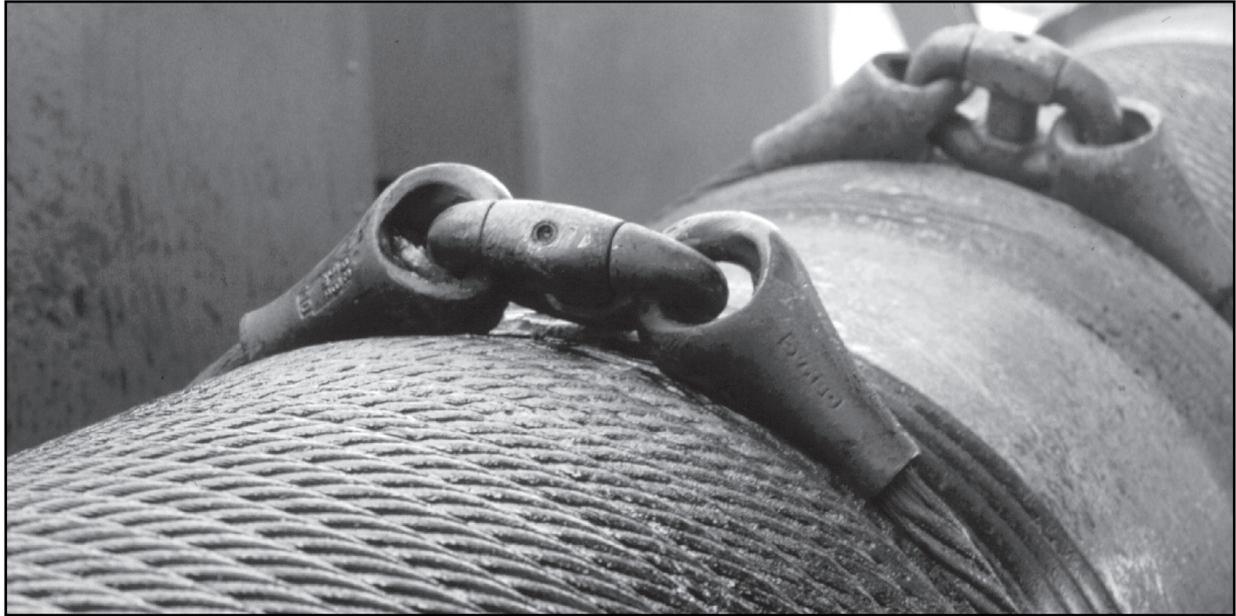


Fig. 77: Culot en forme de poire avec maillon, enroulé sur un tambour.

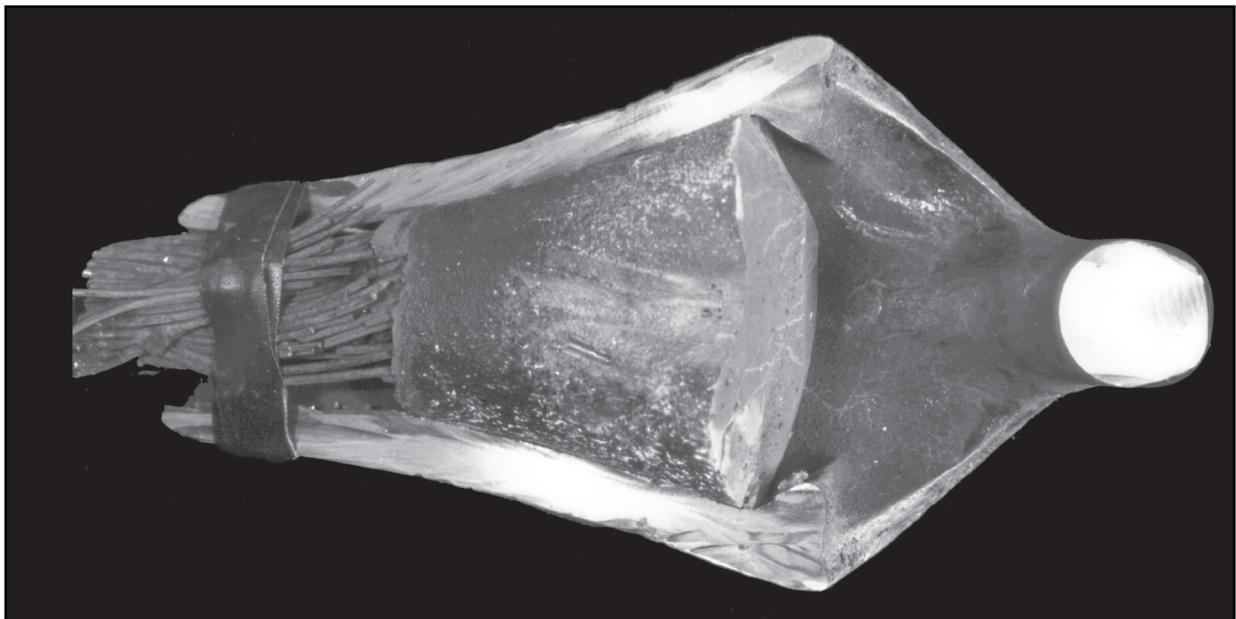


Fig. 78: Coupe d'un culot en forme de poire montrant l'endommagement du câble.

La Fig. 78 montre la coupe d'un culot de ce type. On y voit très bien les ruptures de fils à la sortie du cône coulé. Il est évident que la longueur de culottage est très courte. Ce type de terminaison est malgré tout capable de transmettre la pleine charge de rupture du câble.

Si la température de coulée du métal d'apport est dépassée, le corps du culot, qui est réalisé en acier austénitique au manganèse, va perdre sa résistance du fait de l'altération de sa structure cristalline. Dans ce cas le culot ne doit pas être réutilisé. Cet acier devient très magnétique lorsqu'il perd ses caractéristiques mécaniques. Son intégrité pourra donc être vérifiée par un contrôle en différents points avec un aimant permanent. Le culot pourra être réutilisé si l'aimant exerce une force d'attraction au plus égale à 30% de celle qui s'opérerait sur un acier non allié.

La sortie du culot "piriforme" s'élargit en forme de trompette. Cette cavité est remplie par du métal d'apport pendant la coulée. Lors du passage sur une poulie sous taillée, d'une part le câble est très sévèrement fléchi dans cette zone et de plus il subit en même temps une rapide élévation sur un diamètre supérieur. Ceci génère une force dynamique additionnelle sur cette partie, déjà critique, du câble. Ceci pourra conduire, au fil du temps, à des ruptures de fils à la sortie du culot.

La forte pression appliquée sur le métal d'apport au niveau de cette cavité en forme de trompette pourra conduire en un rien de temps à la fissuration du cône coulé (Fig. 79). Du fait de sa forme en coin causée par l'élargissement de la trompette, l'extrémité détériorée du cône sera poussée à l'extérieur du culot par petits morceaux. Au bout d'un certain temps, le câble sera à cet endroit complètement nu et donc sans protection. Pour les culots tenus tête en bas, l'eau pourra s'accumuler dans la zone qui n'est plus remplie par du métal d'apport.

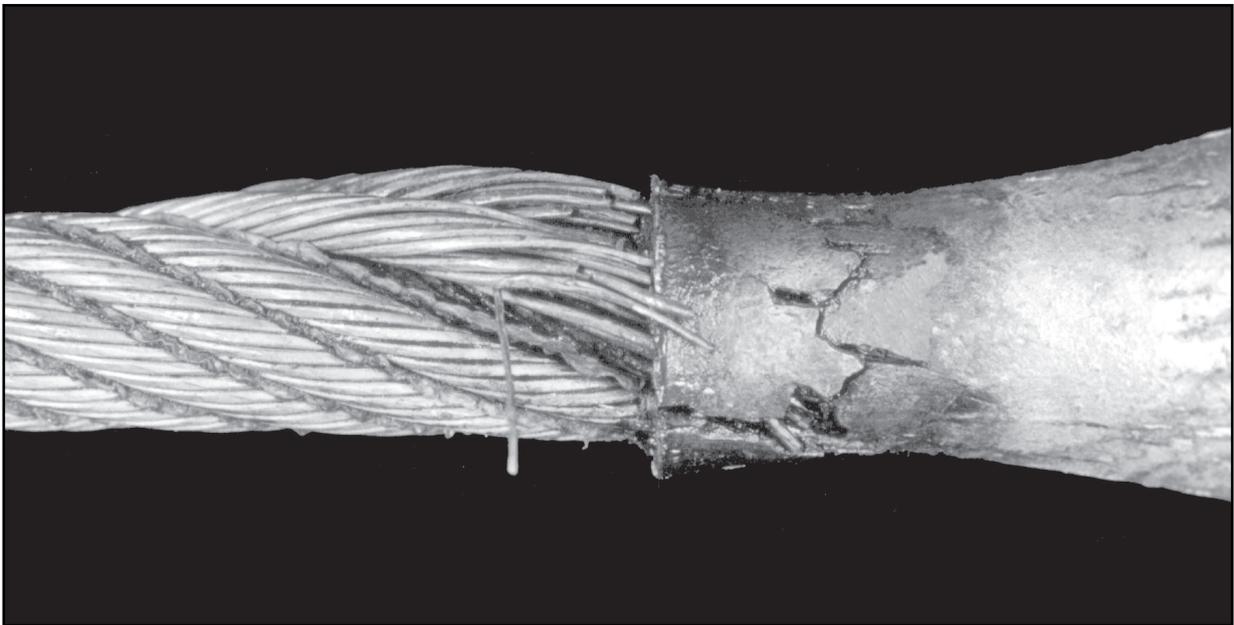


Fig. 79: Coupe du cône coulé d'un culot en forme de poire montrant l'endommagement du câble.

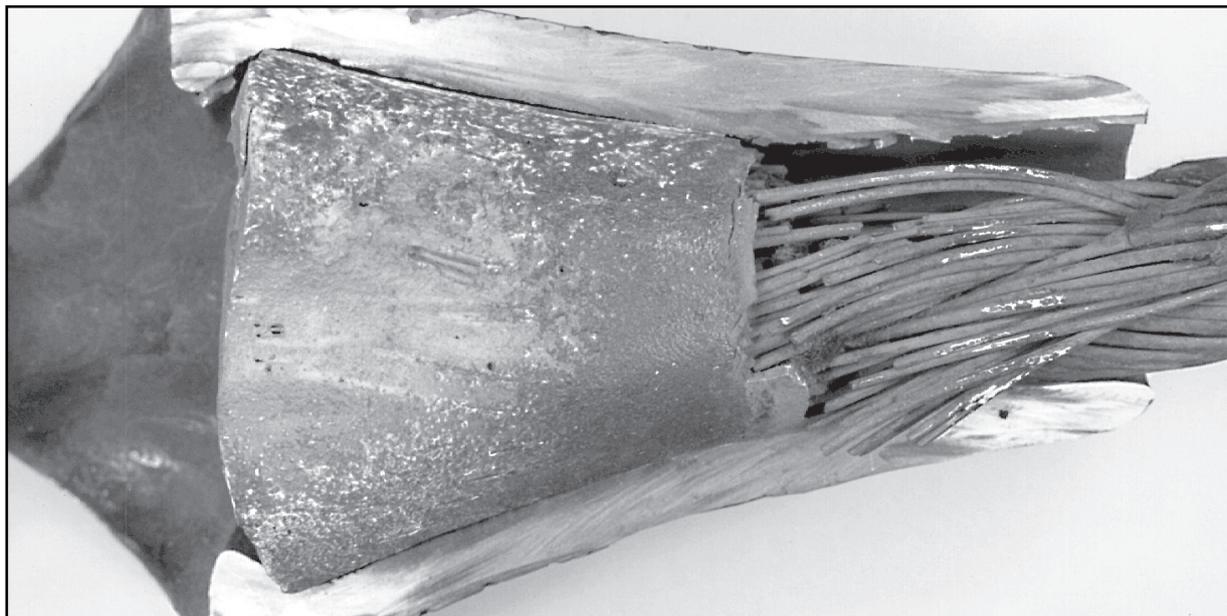


Fig. 80: Corrosion et fils cassés à la sortie du culot en forme de poire

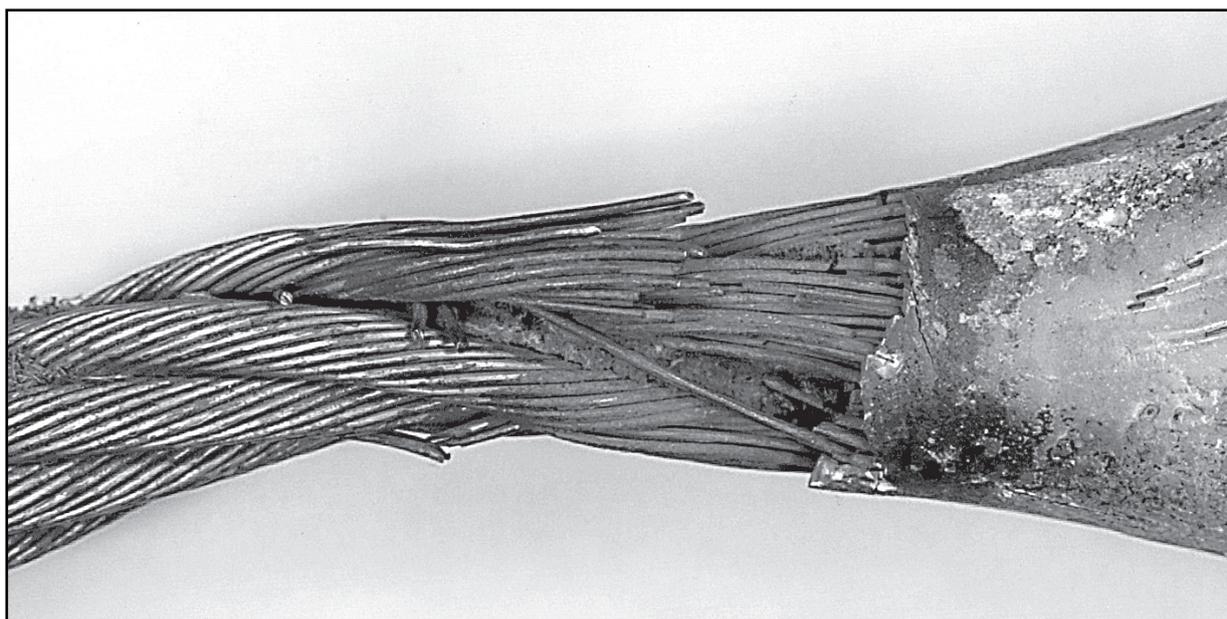


Fig. 81: Corrosion et fils cassés à la sortie du culot en forme de poire

Avant la coulée, la partie nue du câble a été décapée. Après la coulée, cette zone n'a pas été relubrifiée car elle est noyée dans le métal d'apport. Par conséquent, cette section va maintenant se détruire rapidement à cause d'une importante corrosion et d'un niveau élevé de contraintes mécaniques. Elle devra donc être soigneusement surveillée. La Fig. 80 montre une coupe d'un culot en forme de poire qui illustre parfaitement ce type de défaillance. La Fig. 81 illustre un autre exemple.

Le réalésage de la sortie du culot afin de supprimer la forme de trompette améliore le comportement de la terminaison. Les culots en forme de poire coulés à la résine donnent en général de bien meilleurs résultats que lorsqu'ils sont réalisés avec du métal. Non seulement la résine donne l'impression d'amortir les chocs plus efficacement, mais de plus elle supporte mieux les contraintes générées à l'extrémité de la poire.

En outre, avec les culots à la résine, il n'y a plus de risque de surchauffer le corps du culot pendant la fabrication de la terminaison. Il y a toutefois le désavantage lié au fait que lors de la réutilisation du culot, l'ancienne résine devra être enlevée mécaniquement, alors que pour un culot métallique il suffit de chauffer pour liquéfier le métal d'apport.

11. Le culot à la résine

Le culot à la résine est un type de terminaison très fiable et très efficace. Lors d'un essai de traction, ce type de culot atteint les plus fortes valeurs de tous les types de terminaison. De plus son comportement en fatigue de traction est excellent. Il présente un grand avantage par rapport au culot métallique : il peut être fabriqué sur site sans équipement particulier. Un culottage réalisé à la résine est en outre plus léger que celui réalisé avec un produit d'apport métallique. Le culot à la résine s'impose pour toutes les applications pour lesquelles il faut prendre en compte la perte de résistance due à la terminaison lors du choix du diamètre du câble. Le culot à la résine est également utilisé lorsque la terminaison doit être fabriquée sur le site. La résine a presque totalement remplacé le métal en tant que matériau d'apport pour la fabrication de culots en forme de poire.

La résine a largement remplacé le métal pour les applications de court terme. Compte tenu des retours d'expérience favorables sur des applications de plus de 30 ans, la résine a également tendance à remplacer le métal aussi pour les applications de long terme.

11.1. Charge de rupture, endurance sous sollicitations en traction et conditions de température

Lors d'un essai de traction quasi statique, une terminaison par culot à la résine supportera l'intégralité (100%) de la charge de rupture du câble utilisé. Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison supportera le plus grand nombre de cycles de tous les types de terminaison. Pour les câbles avec une âme en fibre les températures sont limitées de -50°C à +80°C, pour les câbles avec une âme métallique et pour les câbles spiroïdaux les températures sont limitées de -50°C à +110°C. Le producteur de Wirelock™ recommande des températures d'utilisation inférieures à 115°C (voir annexe A).

11.2. Normalisation

Les culots à la résine sont maintenant couverts par la norme EN 13411-4.

11.3. Mode de fonctionnement

L'extrémité du câble est ouverte et mise en forme de bouquet puis introduite dans la partie conique du corps du culot. Une fois en position, un cône inverse en résine est coulé, immobilisant le bouquet dans le corps du culot. Dès que la tension est appliquée, le cône en résine est entraîné de plus en plus à l'intérieur du corps du culot, générant ainsi une force de serrage de plus en plus grande.

Le transfert des efforts est réalisé par adhérence des fils du câble dans le cône métallique, résultant du blocage géométrique entre le cône métallique et le corps du culot. Ce blocage génère un effort de pression qui crée le frottement entre le fil et le cône coulé. Le mouvement étant initié, plus la tension augmente plus l'effort de serrage augmente.

11.4. Fabrication / Mise en place

Le matériau de coulée consiste en une résine, généralement résine polyester ou résine époxy, un durcisseur et un matériau de remplissage. Le durcisseur est nécessaire pour faire réticuler la résine. Pendant la réaction de réticulation, le matériau de remplissage absorbe une partie de la chaleur générée par la réaction, prévenant ainsi un trop fort échauffement du cône en résine, donc le risque de formation de fissures.

Ceci réduit également le rétrécissement du cône coulé lors de son refroidissement. L'utilisation d'un matériau de remplissage réduit le coût global du produit. Le procédé Wirelock™, établi sur la base d'une résine polyester, s'est montré très performant. La sélection du corps du culot, la préparation et le dégraissage des fils de la tête de câble et le positionnement du corps du culot seront réalisés de la même façon que pour les culots métalliques, voir chapitre 10.4.3. Le nettoyage des fils du bouquet dans un bain à ultrasons est recommandé

Avant la coulée, le volume nécessaire de résine mélangée avec le matériau de remplissage et le durcisseur doit être préparé, les dates de péremption doivent être vérifiées. Certains composants n'ont une durée de validité que d'environ neuf mois, et les utiliser après ce délai peut se révéler extrêmement dangereux. Par exemple, le matériau de coulée pourra ne durcir qu'en surface, et alors que cela n'est pas visible depuis l'extérieur devenir défaillant lorsqu'il sera sujet à un chargement important.

Le volume nécessaire de résine, mélangé avec le matériau de remplissage est ajouté au volume correspondant de durcisseur puis touillé pendant le temps prescrit par le fournisseur, en général entre deux et cinq minutes. Le processus de coulée peut alors débuter.

Le matériau de coulée doit être introduit lentement et régulièrement dans le culot. La coulée pourra être interrompue plusieurs fois afin de permettre l'échappement des bulles d'air qui pourraient se former. Si la forme de la butée positionnée sous le culot le permet, de faibles quantités de matériaux pourront passer au travers des creux existant entre les torons externes du câble. Ceci signifiera de façon claire que le produit d'apport a bien rempli le fond du culot.

Finalement, les repères d'identification seront imprimés sur la surface visible du cône coulé à l'aide de poinçons en acier. Pour certains cas particuliers une étiquette comprenant les informations spécifiques pourra être noyée sur le dessus du cône coulé.

Après environ trente minutes la résine doit être solidifiée et durcie. La ligature située à l'extrémité du culot peut être enlevée. La partie du câble qui sort du culot doit alors être soigneusement relubrifiée et protégée contre la corrosion, soit à l'aide d'une peinture, soit par immersion du câble dans un agent antirouille ou relubrifiant.

Le culot à la résine est prêt à être mis en charge environ une heure et demie plus tard.

Il peut être avantageux d'enduire la douille d'une cire de démoulage avant le coulage. On facilitera ainsi le démontage de la douille coulée que ce soit pour une inspection ou pour la réutilisation de la douille.

11.4.1. Les culots en forme de poire coulés à la résine

Quand un culot en forme de poire est coulé avec un produit d'apport métallique, il y a souvent éclatement de ce produit d'apport dans la zone où le câble quitte le corps du culot (voir chapitre 10.7). Ceci conduit au fil du temps à des ruptures de fils et à de la corrosion dans cette zone. Du fait de la plus grande élasticité de la résine, ce phénomène ne se produit pas sur les culots coulés à la résine.

De plus, il n'y a plus le risque de surchauffer l'acier austénitique au manganèse constituant le corps du culot, ce qui conduirait à une perte de ses caractéristiques mécaniques. Pour ces raisons, la résine a presque totalement remplacé les matériaux de coulée métalliques pour la fabrication de culots en forme de poire.

11.4.2. Réutilisation d'un culot

Si un culot doit être réutilisé, la résine présente le désavantage de ne pouvoir être que difficilement enlevée pour certaines formes de culot. Avec un produit d'apport métallique il suffit de le réchauffer jusqu'à ce qu'il coule, alors qu'il n'est pas possible de plastifier par la chaleur la résine durcie. Le cône coulé doit par conséquent être enlevé mécaniquement. Certains utilisateurs de culots à la résine ont construit un outillage hydraulique qui permet de pousser le cône en dehors du corps du culot (Fig. 82)

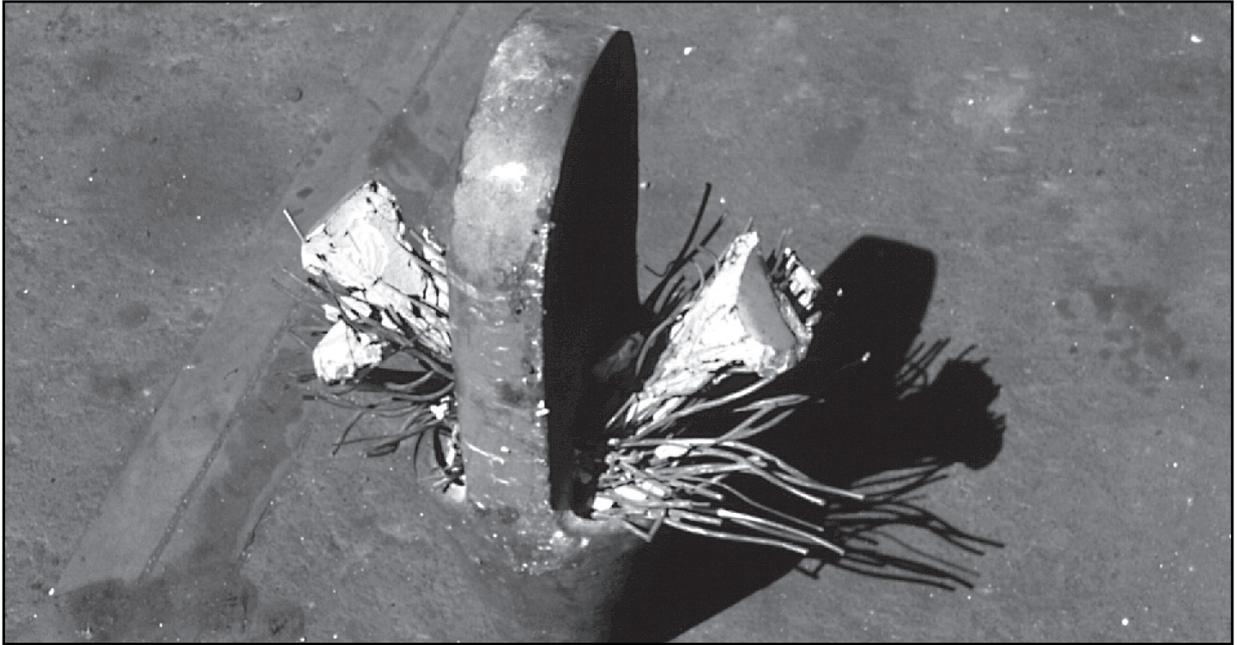


Fig. 82: Culot à la résine poussé mécaniquement hors du corps du culot

11.5. Contrôle

Voir chapitre 10.5

11.6. Cas particuliers / Fabrications spéciales

Voir chapitre 10.6

12. Culot hybride

Le culot hybride (Hybrid socket[®]) est un nouveau type de terminaison qui peut être utilisé aussi bien pour des câbles en acier que pour des câbles en fibre.

Cette terminaison peut être utilisée avec ou sans coulage d'un produit d'apport. Elle présente la particularité d'être démontable et contrôlable. Les dimensions extérieures sont comparables à celle d'une boîte à coin asymétrique, voir figure Fig. 83.

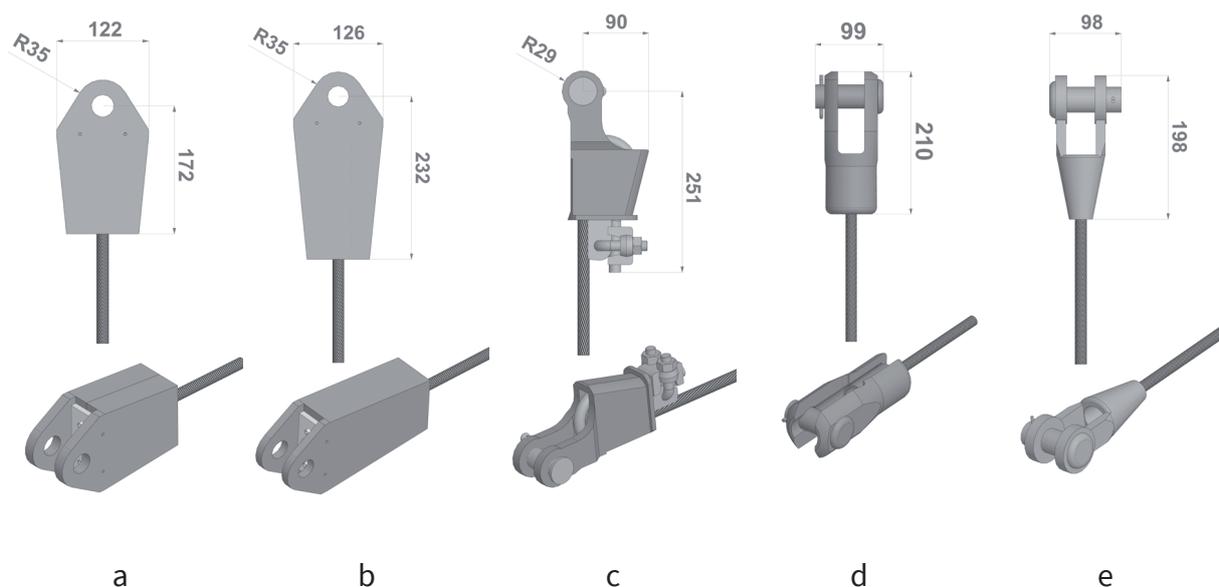


Fig. 83: Comparaison de différentes terminaisons: (a) Culot hybride pour câble acier, (b) Culot hybride pour câble fibre, (c) boîte à coin asymétrique, (d) douille avec embout, (e) douille conique. (les dimensions correspondent à un câble de 16 mm)

12.1. Charge de rupture et endurance sous sollicitation en traction

Lors d'un essai de traction quasi statique l'attache avec un culot hybride supportera l'intégralité (100%) de la charge de rupture du câble utilisé, si elle est réalisée avec un produit d'apport. Sinon la résistance de l'attache sera comprise entre 85% et 100% de la charge de rupture du câble

Lors d'un essai de fatigue en traction ce type de terminaison, réalisée avec un produit d'apport, supportera un nombre de cycles équivalent à celui d'un culot classique. Les essais de qualifications sont en cours au moment de la rédaction de ce document.

12.2. Normalisation

Ce produit n'est pas encore normalisé.

12.3. Mode de fonctionnement

Le culot hybride (Hybrid socket®) est un type de terminaison qui fonctionne selon le principe du système conique auto engageant tout comme le culot.

Pour le culot traditionnel un cône est coulé directement dans le corps de la douille. Pour le culot hybride, un manchon cylindrique est coulé autour du câble, la forme conique est obtenue par des pièces mécaniques indépendantes. Pour le culot traditionnel c'est le cône coulé qui de part la géométrie des pièces et grâce à l'adhérence sur les fils est naturellement poussé vers le fond du corps de la douille (Fig. 84).

Pour le culot hybride les efforts sont transmis par adhérence à l'intérieur du manchon coulé, tout comme pour le culot classique. L'adhérence entre le manchon coulé et les coins est assurée grâce aux dents qui sont usinées sur les coins (Fig. 85).

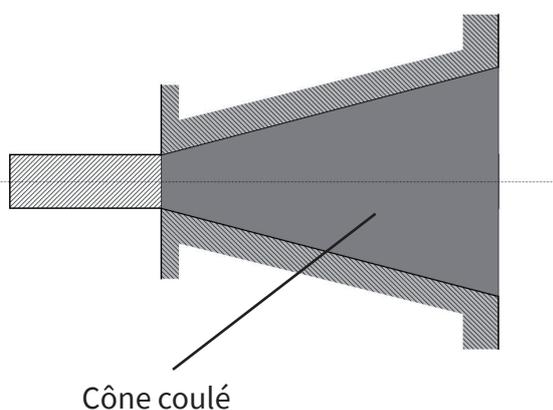


Fig. 84: Culot classique

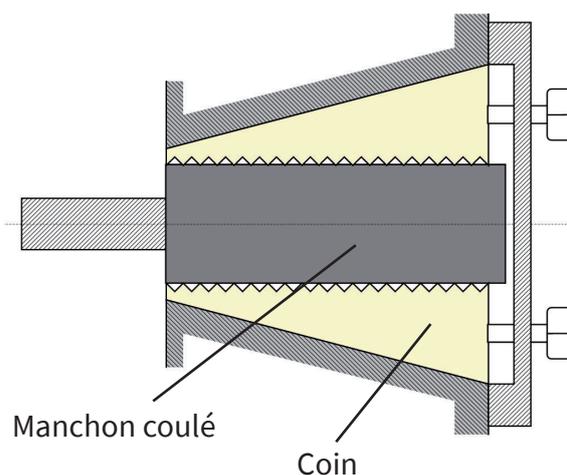


Fig. 85: Culot hybride

La pression exercée par les coins sur le manchon coulé permet d'exploiter l'adhérence entre les éléments constitutifs du câble et le matériau du manchon pour transmettre l'effort au corps du culot.

Les dimensions du manchon coulé peuvent être ajustées afin d'optimiser les contraintes sur les éléments du câble.

12.4. Confection de l'attache

Pour les câbles en acier l'attache peut être utilisée avec ou sans manchon coulé.

Fig. 86 montre un câble acier qui a été utilisé sans manchon coulé, Fig. 87 montre un câble avec manchon coulé qui a été installé dans une attache.



Fig. 86: Câble acier qui a été installé dans l'attache sans manchon coulé

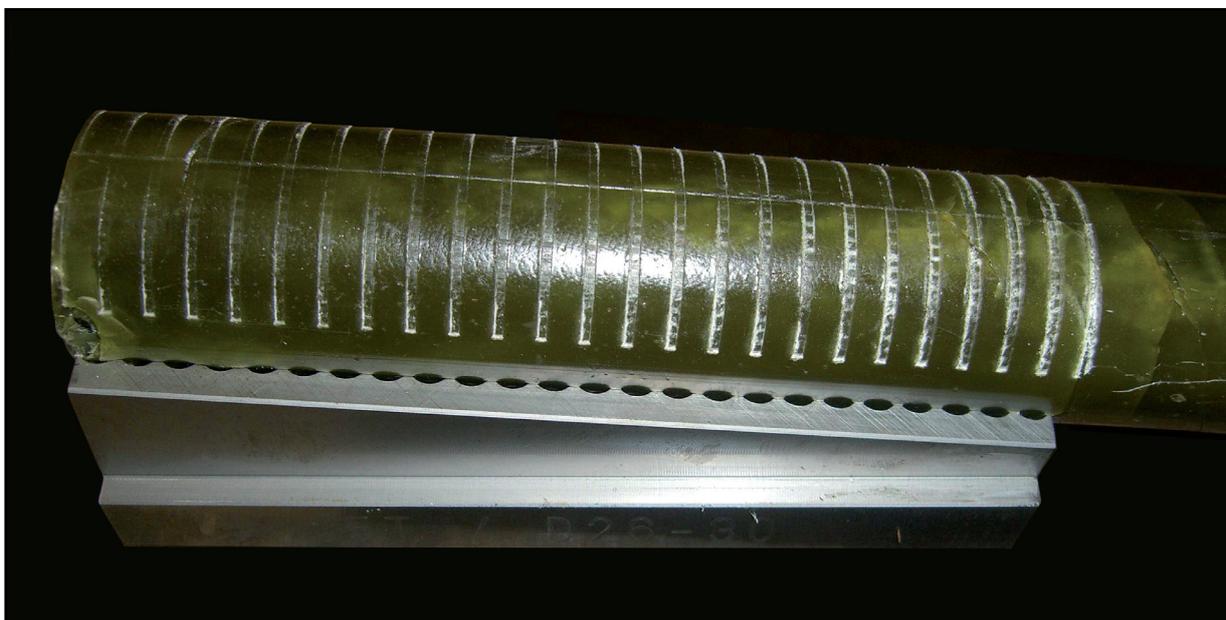


Fig. 87: Câble avec manchon coulé en résine qui a été installé dans l'attache

En l'absence de manchon coulé la résistance à la rupture peut être inférieure à la charge de rupture du câble.

Pour les câbles en acier et les câbles en fibre munis d'un manchon coulé la résistance de la terminaison est égale à la charge de rupture du câble.

Dans le cas de la réalisation d'un manchon coulé sur un câble acier, le câble est ouvert, les fils sont séparés et nettoyés (dégraissés) et puis agencés de façon à être parallèle à l'axe du câble. L'ensemble est ensuite installé dans un moule cylindrique qui est rempli soit avec de la résine Wirelock®, soit avec un métal d'apport (comme pour un culot traditionnel) voir Fig. 88. La Fig. 89 présente la répartition des fils à l'intérieur du manchon coulé en différentes sections le long du manchon.



Fig. 88: Manchon coulé en résine Wirelock® réalisé sur un câble métallique



Fig. 89: Répartition des fils à l'intérieur du manchon coulé en différentes sections

Pour les câbles en fibre, la réalisation du manchon coulé est obligatoire. Tout comme pour le câble en acier, le câble en fibre est ouvert, les fibres sont séparées puis agencées de façon à être parallèle à l'axe du câble. Ces fibres sont ensuite imprégnées avec de la résine Fibrelock® avant d'être mises en place dans un moule cylindrique qui est à son tour rempli avec de la résine Wirelock® voir Fig. 90. La Fig. 91 présente la répartition des fibres à l'intérieur du manchon coulé en différentes sections le long du manchon.



Fig. 90: Manchon coulé en résine réalisé sur un câble en fibres

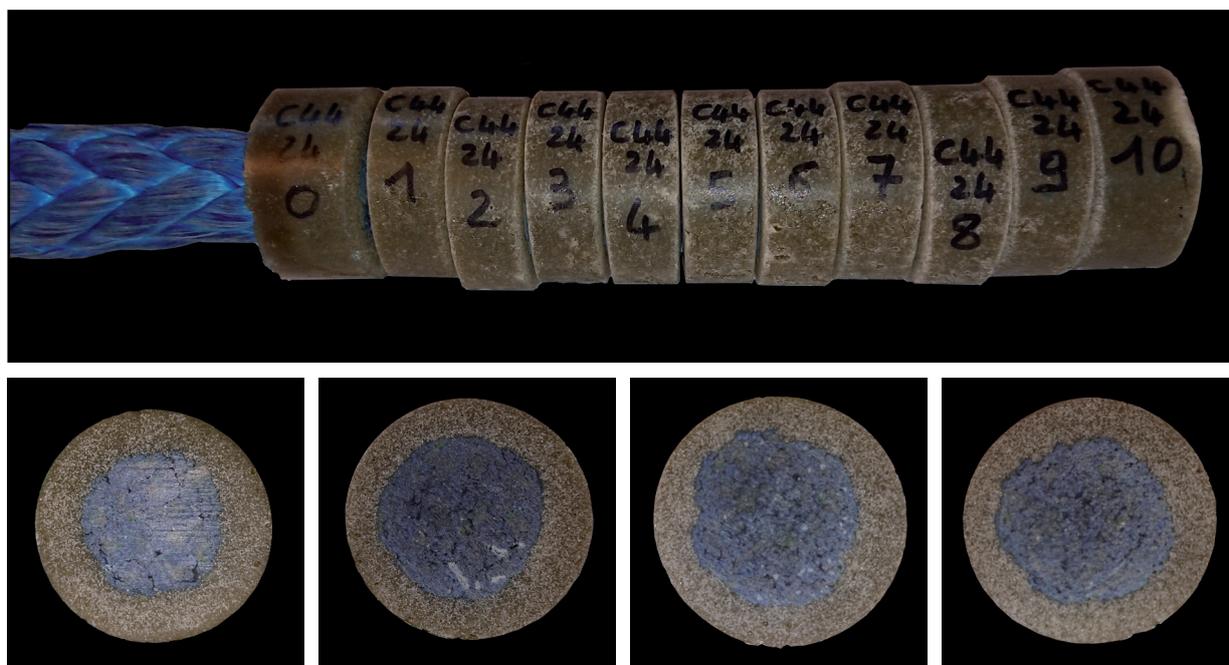


Fig. 91: Répartition des fibres à l'intérieur du manchon coulé en différentes sections

12.5. Contrôle

Tout comme le culot traditionnel le contrôle visuel doit s'attacher à la recherche de fissures sur les parties mécaniques.

Ce culot peut en plus être démonté. Le manchon peut alors faire l'objet d'une inspection sur toute sa longueur. Pour les câbles métalliques, il est également possible de faire un contrôle électromagnétique qui permettra d'identifier d'éventuels fils cassés à l'intérieur du manchon.

Le corps du culot ainsi que les coins sont réutilisés lorsqu'il y a changement du câble.

13. Parlons de prix

Le prix est évidemment un facteur important lors de la sélection d'un type de terminaison. Par exemple le manchonnage aluminium est très intéressant pour les câbles de petit diamètre, alors que l'épissure ou le culottage pourront être beaucoup plus coûteux. Cependant, si le diamètre du câble augmente, la différence de prix diminue et, au-dessus d'un certain diamètre, le culottage peut même devenir la solution la plus économique.

Les chapitres suivants comparent les prix des différents types de terminaison sur la base de prix établis en 1997. Ces prix ont depuis pu évoluer. Les remises peuvent également changer d'un pays à l'autre, en fonction du type de terminaison et en fonction du câble utilisé. Aussi les conclusions ci-dessous ne sont présentées qu'à titre de guide général.

13.1. Prix des attaches pour des câbles non statiques

La ligne en trait continu de la Fig. 92 illustre le rapport entre le prix d'une terminaison par manchonnage aluminium avec cosse (EN 13411-3) et celui d'une terminaison par culottage (EN 13411-4), en fonction du diamètre du câble. On constate que, pour un câble de 12 mm de diamètre, le culottage est quatre fois plus onéreux que le manchonnage aluminium. Cette proportion diminue cependant si le diamètre du câble augmente. Pour un câble de 44 mm le culottage reste environ deux fois plus onéreux que le manchonnage aluminium.

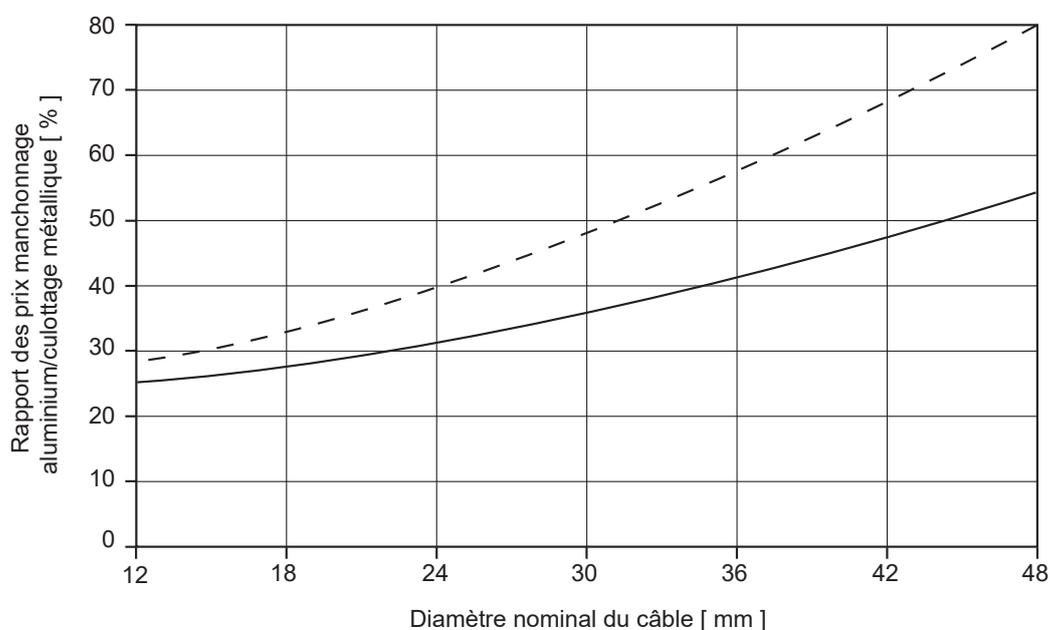


Fig. 92: Rapport entre le prix d'un manchonnage aluminium et celui d'un culottage - avec et sans prise en compte de l'augmentation du du câble pour le manchonnage.

Ceci constitue une des raisons pour lesquelles le manchonnage aluminium est préféré au culottage, particulièrement pour les grues et ponts roulants de série.

13.2. Prix des attaches pour des câbles de suspension

Comme nous l'avons vu ci-dessus, pour un câble non statique, la résistance à la rupture des différents types de terminaison n'est pas prise en compte lors du choix de cette terminaison. Par contre, pour un câble statique, la perte de résistance causée par la terminaison doit être compensée par une augmentation du diamètre du câble.

Les culots métalliques ou les tours morts transmettent 100% de la charge de rupture du câble. Le manchonnage aluminium n'en transmet que 90%. Les boîtes à coin ou les épissures n'en transmettent que 80%.

Si le concepteur utilise des manchons aluminium, des boîtes à coin ou des épissures, le diamètre du câble devra donc être augmenté pour compenser la perte de résistance causée par la présence de la terminaison. L'augmentation du diamètre du câble conduira également à l'augmentation de la taille et du poids de la terminaison.

La ligne en trait pointillé de la Fig. 92 illustre le rapport entre le prix d'une terminaison par manchonnage aluminium avec prise en compte de l'augmentation de la taille et donc du prix des manchons aluminium et celui d'une terminaison par culottage pour laquelle le diamètre du câble n'est pas augmenté. Le surcoût de la solution avec culot n'est plus si important.

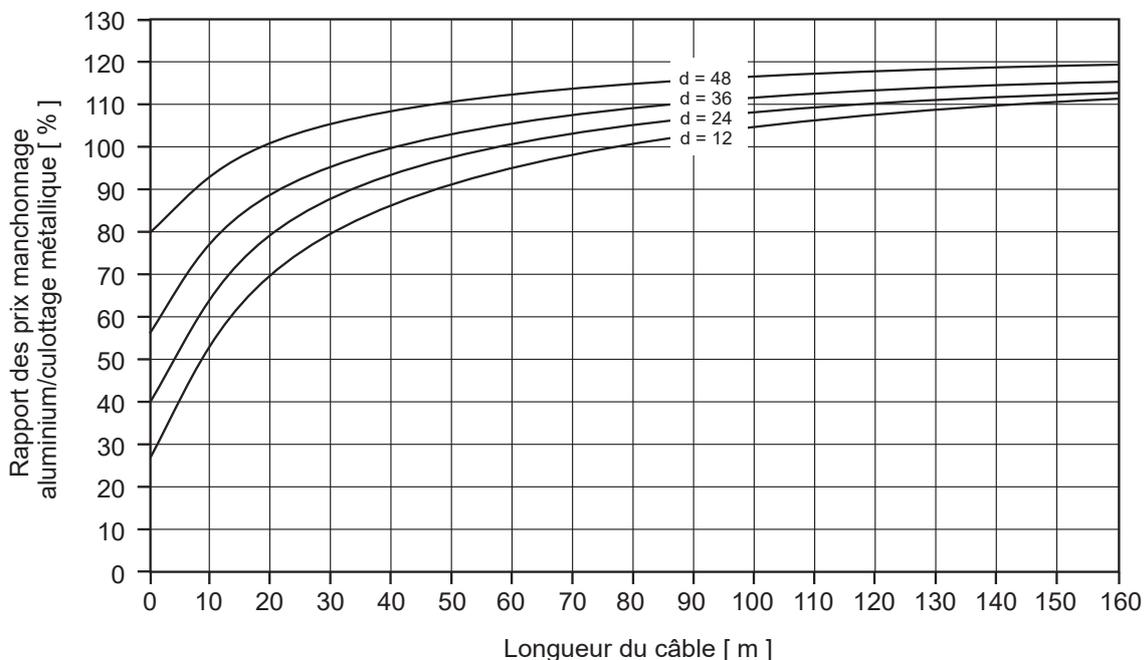


Fig. 93: Rapport entre le prix d'un manchonnage aluminium et celui d'un culottage - avec prise en compte de l'augmentation du diamètre et du prix du câble pour le manchonnage

Sur toute la plage de diamètre analysée, le manchonnage aluminium reste la terminaison la moins onéreuse. Toutefois, en cas d'utilisation de manchon aluminium, de boîte à coin ou d'épissure, le diamètre du câble doit être augmenté, son prix sera donc plus élevé. Ceci signifie qu'au-dessus d'une certaine longueur de câble de structure, le surcoût du câble consommera toute l'économie réalisée sur la terminaison.

La Fig. 93 montre le rapport entre le prix d'une terminaison par manchonnage aluminium et celui d'une terminaison par culottage en fonction de la longueur de câble. Par exemple un câble de structure de 12 mm de diamètre et de cinq mètres de longueur équipé de deux manchons aluminium ne coûtera que 40% du prix d'un même câble équipé de deux culots métalliques. Pour une longueur de 78 m les deux câbles de auront le même coût. Au-dessus de 78 m le câble de structure monté avec des culots métalliques sera moins onéreux. Si le diamètre du câble augmente, le point d'équilibre entre les deux solutions correspondra à des longueurs de câble de plus en plus courtes. Ainsi, pour un câble de 48 mm de diamètre, le montage avec deux manchons aluminium n'est moins cher que si la longueur ne dépasse pas 19 m.

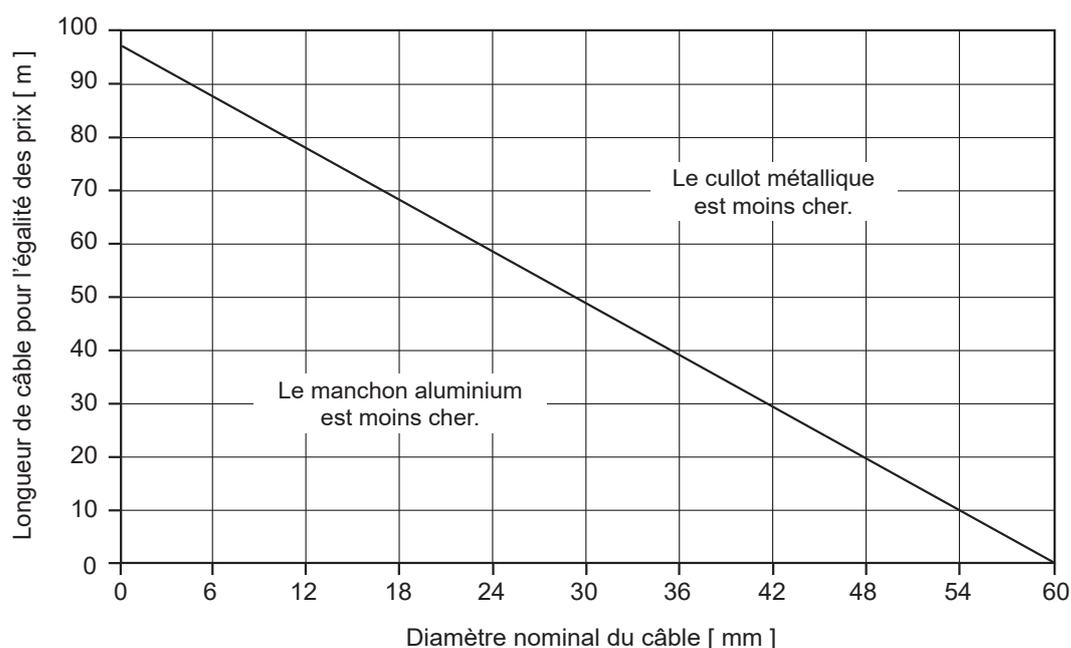


Fig. 94: Longueur de câble nécessaire pour obtenir l'égalité des prix. Au-dessus de la longueur de câble de suspension indiquée, la terminaison avec culot est plus économique que celle par manchonnage.

Fig. 94 montre le tracé de la courbe représentant, en fonction du diamètre du câble, la longueur pour laquelle le prix du câble de suspension est le même avec des manchons aluminium ou avec des culots. De façon assez surprenante, on obtient une droite.

Annexe A

	Charge de rupture relative (culot = 100%)	Résistance à la fatigue en traction (culot = 100%)	Sensibilité à la température
Serre-câble	90%	50%	A
Boîte à coin asymétrique	80% - 95%	50%	A
Boîte à coin symétrique	80% - 85%	50%	A
Épissure	85% (50%)	< 50%	A
Manchonnage aluminium	80% - 100%	60%	B
L'oeil Flamand	80% - 100%	70%	A
Douille à sertir	90% - 100%	75%	A
Culot résine	100%	100%	B
Culot métallique	100%	100%	B

A: Les températures admissibles dépendant du fil, de l'âme et de la couche plastique, le cas échéant.

B: Les températures admissibles sont de plus limitées par l'attache terminale.

Ingenieurbüro für Fördertechnik

Dipl.-Ing. Roland Verreet

Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen

Tel.: 0241- 173147 • Fax: 0241- 12982

Mail: R.Verreet@t-online.de

www.seile.com