

SEMINAIRE PONTS METALLIQUES EN SITES MONTAGNEUX



MILLAU – 18 ET 19 AVRIL 2000

**PONTS A HAUBANS
A TABLIERS METALLIQUES ET MIXTES**

Reiner SAUL

Leonhardt, Andrä und Partner GmbH
Stuttgart · Berlin · Dresden · Erfurt · Leipzig, Germany



PONTS A HAUBANS A TABLIER METALLIQUE

SAUL Reiner
Leonhardt, Andrä und Partner GmbH
Stuttgart · Berlin · Dresden · Erfurt · Leipzig, Germany

0- RESUME

Après une introduction courte et un survol du développement historique des ponts à haubans, cet article décrit les principaux éléments structuraux – système global, tablier, pylônes et câbles.

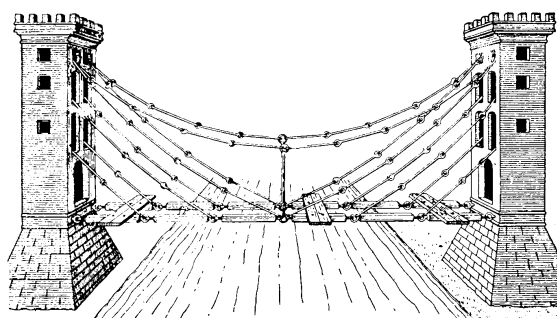
Les méthodes de construction les plus importantes et les principes de maintenance des ponts à haubans sont présentés.

Les ponts haubanés multi-travées similaire au franchissement du Tarn à Millau sont décrits à la fin de l'article avec des exemples de pont construit ou en projet.

1- INTRODUCTION ET DEVELOPPEMENT HISTORIQUE [1] A [4]

Les premiers ponts haubanés des temps modernes ont été décrits au 17^{ème} siècle par Faustus Verantius et au 18^{ème} siècle par Immanuel Löscher (Fig. 1).

a)



b)

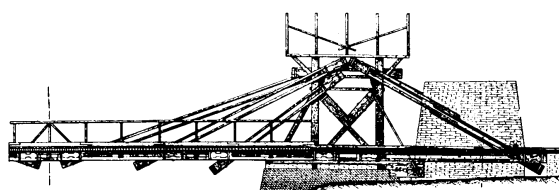


Fig. 1: Premiers ponts à haubans: a) Faustus Verantius 1617, b) Immanuel Löscher 1784

Comme l'acier n'était pas encore connu à l'époque, ce sont des chaînes et du bois qui étaient utilisés pour les câbles. Et comme les méthodes de calcul étaient plutôt sommaires, plusieurs de ces premiers ponts s'écroulèrent.

Le système à haubans disparût pendant plus d'un siècle, Mais depuis le milieu des années 1950, il réapparut et dépassa pratiquement tous les systèmes concurrents jusqu'ici aussi bien dans les petites passerelles piétonnes que dans les ponts-rails à grande portée.

Il y a plusieurs raisons pour ce retour triomphal :

- les câbles à haute résistance et des méthodes modernes de calcul avaient mis au point entre-temps ;
- le système à hauban permettait une variété architecturale jusqu'ici inconnue dans les ponts suspendus ;
- c'est le seul système qui peut-être utilisé pour les ponts à grande portée quand les conditions de sol sont mauvaises ;
- si nécessaire le pont complet peut être déplacé
- les déformations sont beaucoup plus petites que dans un pont suspendu, en particulier sous des charges d'exploitation concentrées ou non - uniformément réparties ;
- il peut être monté facilement, car les systèmes de montage sont auto-portants, contrairement à un ouvrage bow-string ou un pont suspendu.

2 – CONCEPTION [1] à [4]

2.1 – Système longitudinal

Les premiers ponts à haubans construits dans les années 1950 avaient peu de câble car le calcul des systèmes statiquement indéterminés n'était pas possible, Fig. 2. La grande distance entre les haubans concentrés nécessitait un haubanage provisoire pendant le montage.

Parallèlement au développement des techniques informatiques, l'écartement des haubans décroissait continuellement. Aujourd'hui, les systèmes à haubans multiples

sont généralement utilisés. Dans ces systèmes, les haubans peuvent être disposés fondamentalement dans une configuration en éventail ou en harpe, Fig. 3.

Les travées d'accès ont des portées d'environ 35 % de la portée principale, et la hauteur du pylône environ 20%.

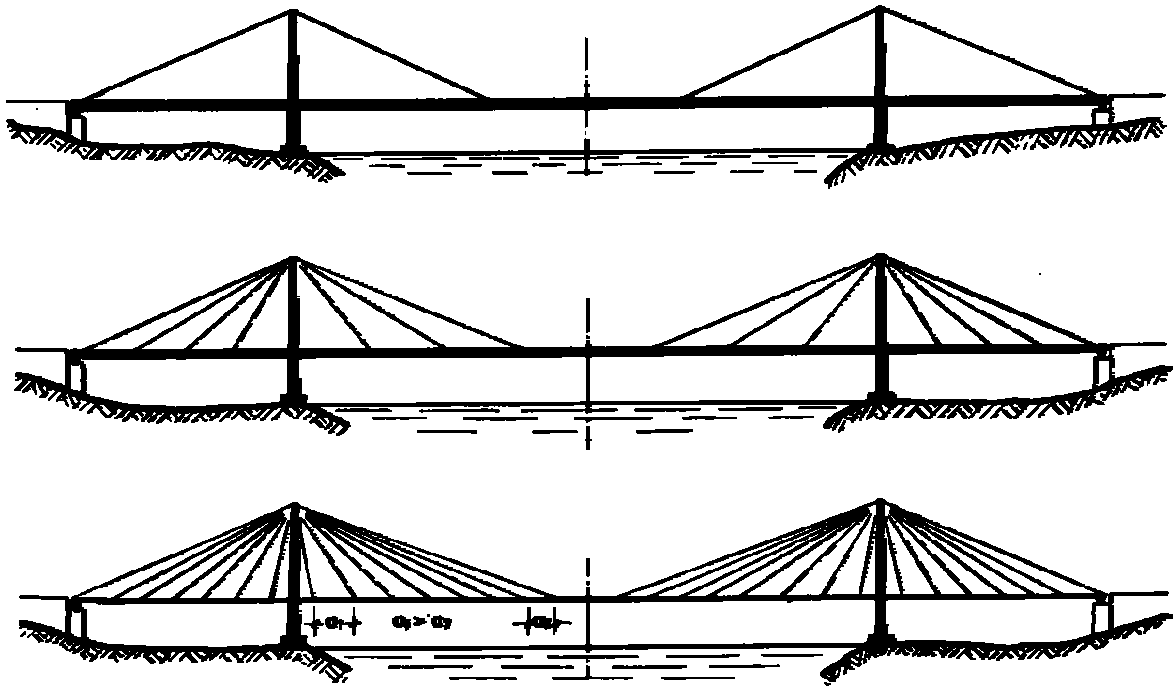


Fig. 2 Développement de la poutre mono - haubanée au système multi - haubané

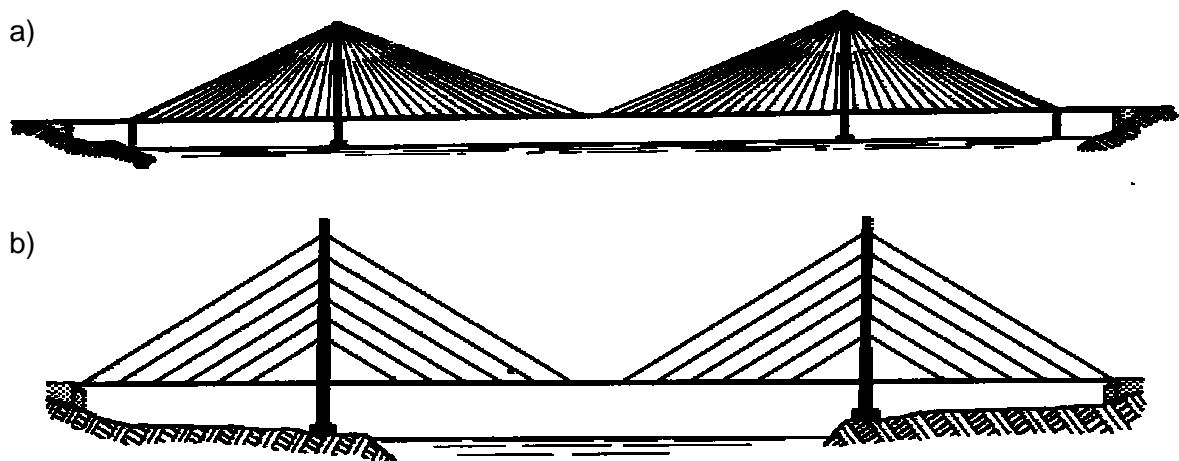


Fig. 3 Configuration des haubans: a) en éventail, b) en harpe

2.2 – Tablier

Le tablier du pont travaille en compression et en flexion.

Le rapport de prix entre l'acier de structure et le béton avec les haubans détermine le choix du matériau composant le tablier :

- béton jusqu'à la portée d'environ 300 m.,
- mixte acier-béton jusqu'à 500 m. environ,
- tout acier au-delà de 500 m.

Une combinaison des travées d'accès en béton avec une travée principale en acier ou mixte est dans beaucoup de cas plus économique qu'un seul matériau sur toute la longueur. L'écartement correspondant des haubans est approximativement de :

- 10 m pour les tabliers en béton
- 15 m pour les tabliers mixtes
- 20 m pour les tabliers entièrement acier

Dans le sens transversal, les haubans peuvent être ancrés dans l'axe ou sur les rives.

Dans le premier cas, une poutre-caisson est nécessaire pour reprendre les charges d'exploitation excentrées, (Fig. 4) difficile à construire, alors que dans le deuxième cas le tablier a un profil ouvert (Fig. 5), sauf pour les ponts très longs.

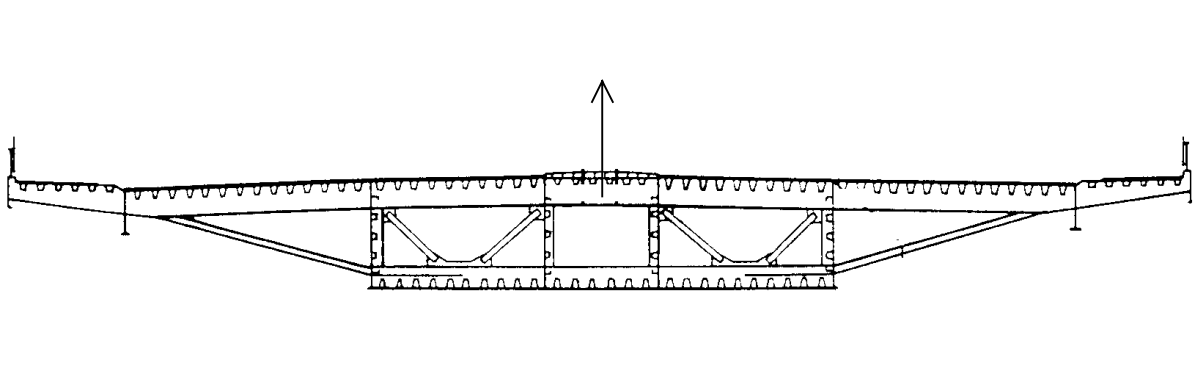


Fig. 4 Coupe transversale pour un tablier à nappe axiale.

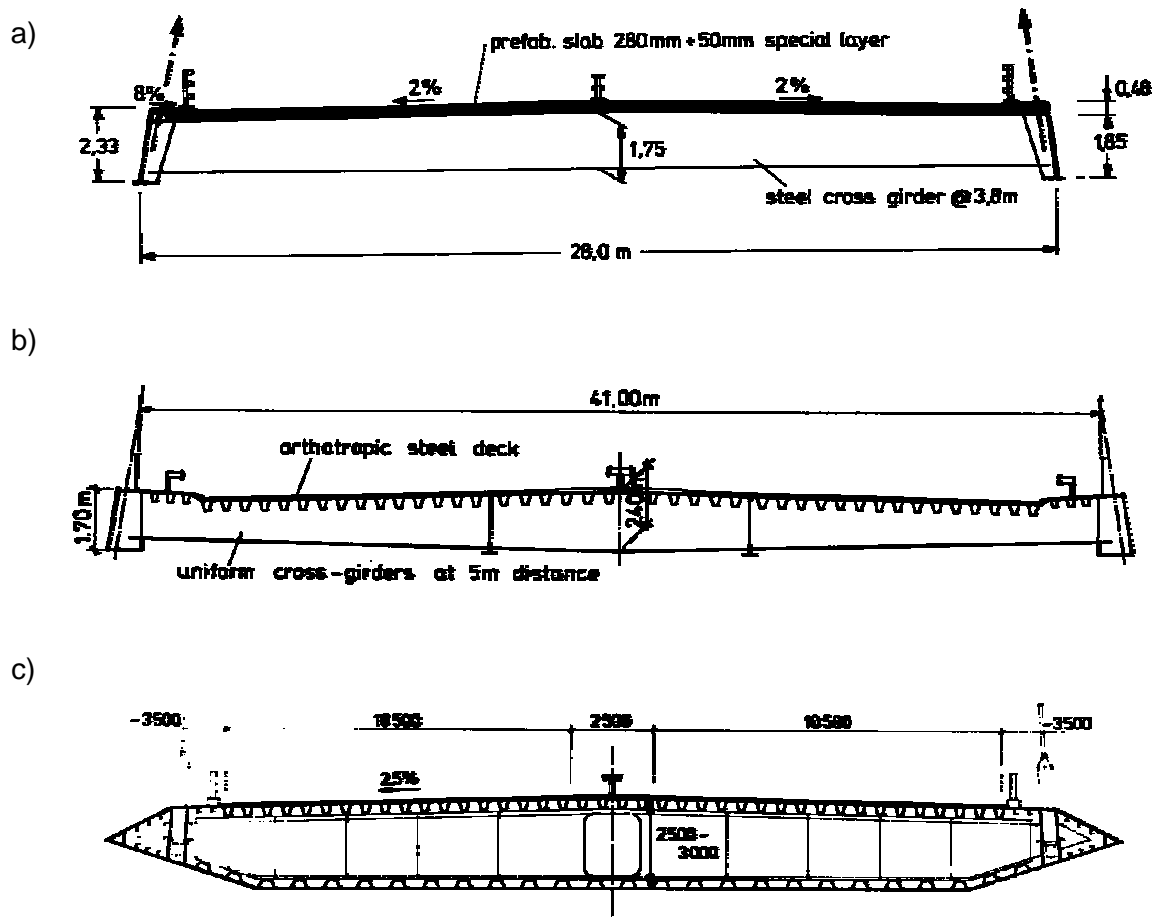


Fig. 5 Coupes de tabliers à 2 nappes : a) mixte acier-béton, b) tout acier (orthotrope), c) section aérodynamique pour de grandes portées.

2.3 – Pylônes

Les pylônes travaillent essentiellement en compression. Il est donc économique de les construire en béton, même si la plupart des premiers ponts à haubans ont de pylônes en acier.

Les pylônes des tabliers à nappe unique de haubans sont montrés sur la Fig. 6 et

pour les tabliers à deux nappes sur la Fig. 7. Pour les pylônes axiaux des Fig. 6a et

6b, un pylône métallique est normalement avantageux car il est plus mince qu'un

pylône en béton et par conséquent, un élargissement moins important du tablier.

Comme la vue latérale des ponts à haubans multiple ne varie que légèrement, le pylône est l'élément décisif de l'esthétique d'un pont, et la plus grande attention doit donc être apportée aux détails.

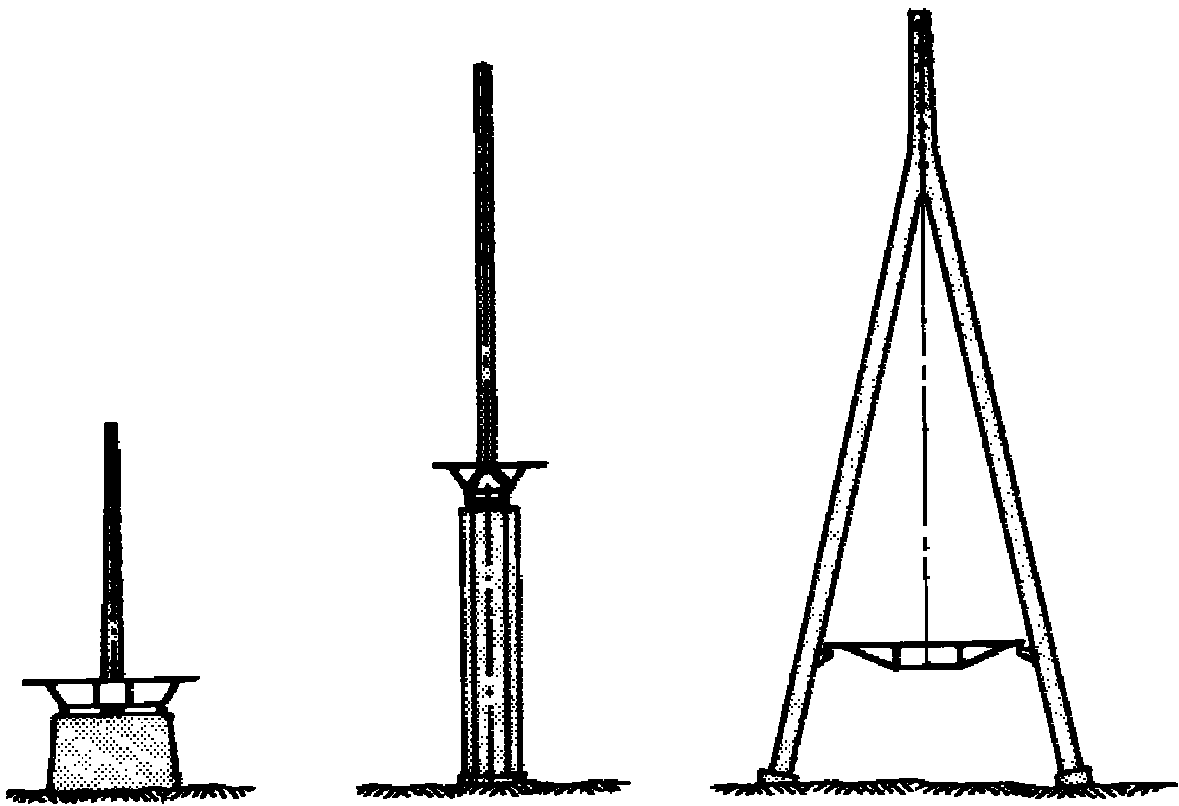


Fig. 6 Forme des pylônes pour une nappe de haubans

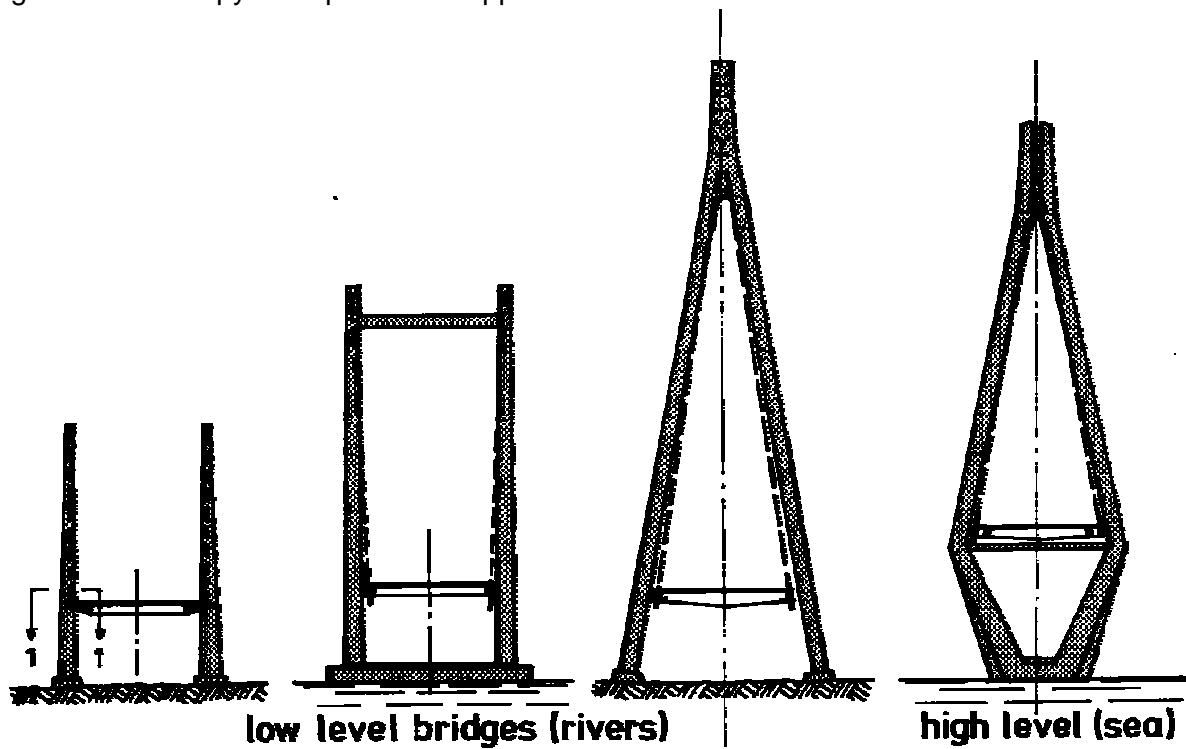


Fig. 7 Forme des pylônes pour une double nappe de haubans

2.4 – Haubans [5]

Les qualités essentielles des haubans pour les ponts sont :

- Ils doivent être individuellement remplaçables.
Ceci implique que les haubans doivent être ancrés sur le pylône et le tablier par des culots d'ancrage et ne doivent pas passer sur des selles.
- Ils doivent pouvoir être inspectés sur toute la longueur.
Les têtes d'ancrage doivent donc être appuyées sur des systèmes à écrous ou similaires, situés sur la face arrière. Il faut que l'inspection soit possible visuellement pour la surface, mais aussi pour le hauban complet en profondeur, avec des équipements d'induction magnétique.
- Le module d'Young doit être élevé et constant.
- L'amplitude de fatigue acceptable doit être élevée.

Les types les plus importants des câbles pour les haubans sont :

a) Les câbles clos.

Les câbles clos sont constitués de plusieurs couches de fils ronds et des fils Z (Fig. 8a), enroulés hélicoïdalement autour du noyau. Ils sont ancrés dans des culots avec de l'acier moulé à chaud. La protection anticorrosion est constituée de :

- galvanisation à chaud de tous les fils
- remplissage des vides de polyuréthane avec du chromate de zinc
- 4 couches extérieures de produits anticorrosion et finition

Après le moulage, le remplissage brûlé à la base des fils doit être remplacé par injection.

Les plus gros câbles produits pour les ponts jusqu'ici ont un diamètre de 160 mm, correspondant à une charge ultime de 30 MN environ. La contrainte de fatigue admissible est de l'ordre de 150 MN/m², et le module d'Young de l'ordre de 1.7 x 10⁵ MN/m².

b) Câbles à fils parallèles ou toronnés.

Ces câbles sont constitués de fils de précontrainte parallèle de diamètre 7 mm (1/4 ") ou des fils de précontrainte de diamètre 0.6" (monotoron), Fig. 8b et 8c. Ils sont aussi ancrés dans des culots, mais au moyen d'un mélange de billes d'acier, poudre de zinc et résine époxy (HiAm = high-amplitude anchorages), ou par des cales.

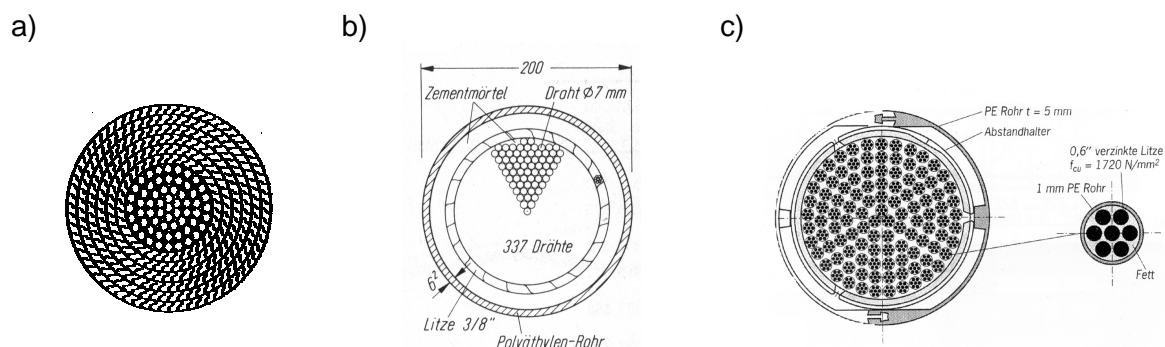


Fig. 8 Sections des haubans : a) Câbles clos modernes, b) Câbles à fils parallèles avec une protection anti-corrosion de gaine PE injectée c) Hauban à torons parallèles.

Les plus gros câbles fabriqués à ce jour ont 499 fils de diamètre 7 mm et 127 torons de diamètre 0.6" respectivement, correspondant à une charge ultime de 31 MN. La contrainte admissible pour la fatigue est de l'ordre de 200 Mn/m² et le module d'Young de 2.0x10⁵ MN/m².

Il est très important de fermer hermétiquement l'entrée des haubans dans le tablier, par exemple avec des colliers en néoprène, et d'éviter des vibrations induites par le vent ou les charges d'exploitation, avec par exemple des amortisseurs par frottement ou d'autre système.

3 - CONSTRUCTION

3.1 – Généralités

Une des raisons principales du succès important des ponts à haubans a été leur facilité de construction, car ils sont auto-portants à toutes les étapes intermédiaires. Pour le montage du tablier, quelque soit le matériau, deux méthodes de base peuvent être observées :