ICS: 91.010.30 ; 91.080.10 ; 93.040

norme belge enregistrée

NBN EN 1993-1-11

1e éd., mai 2007

Indice de classement: B 51

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-11: Calcul des structures à câbles ou éléments tendus

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-11: Algemene regels - Ontwerp en berekening van aan trek onderworpen componenten

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-11: Design of structures with tension components

Autorisation de publication: 19 décembre 2006

La présente norme européenne EN 1993-1-11:2006 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).

La présente norme européenne EN 1993-1-11:2006 a le statut d'une norme belge. La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Cette norme européenne est diffusée par le NBN dans les délais imposés par le CEN. Cette norme ne peut être utilisée en Belgique qu'en combinaison avec son Annexe Nationale (ANB) qui fixe principalement la valeur des paramètres à déterminer au niveau national.

standards for .be

Bureau de Normalisation - Avenue de la Brabançonne 29 - 1000 Bruxelles - Belgique
Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: info@nbn.be - NBN Online: www.nbn.be
Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOT BEB1 TVA: BE 0880.857.592

© NBN 2007

Prix: groupe 20

ICS: 91.010.30 ; 91.080.10 ; 93.040

Geregistreerde Belgische norm

NBN EN 1993-1-11

1e uitg., mei 2007

Normklasse: B 51

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-11: Algemene regels - Ontwerp en berekening van aan trek onderworpen componenten

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-11: Calcul des structures à câbles ou éléments tendus

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-11: Design of structures with tension components

Toelating tot publicatie: 19 december 2006

Deze Europese norm EN 1993-1-11:2006 heeft de status van een Belgische norm.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans).

Deze Europese norm EN 1993-1-11:2006 heeft de status van een Belgische norm. Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans). Deze Europese norm is door het NBN verspreid binnen de door de CEN opgelegde termijnen. Deze norm mag in België slechts samen met haar Nationale Bijlage (ANB) worden toegepast. Deze laatste legt hoofdzakelijk de waarden van de parameters vast die op nationaal vlak te bepalen zijn.

standards for .be

Bureau voor Normalisatie Brabançonnelaan 29 B-1000 Brussel België
Tel: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: info@nbn.be - NBN Online: www.nbn.be
Bank 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOT BEB1 BTW: BE 0880.857.592

© NBN 2007

Prijsgroep: 20

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

EN 1993-1-11

Octobre 2006

ICS 91.010.30; 91.080.10; 93.040

Remplace ENV 1993-2:1997

Version Française

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-11: Calcul des structures à câbles ou éléments tendus

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-11: Design of structures with tension components

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 13 janvier 2006.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2006 CEN Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° EN 1993-1-11:2006 F

Sommaire

Page

Avant-propos 4

1 Généralités 6
1.1 Domaine d'application 6
1.2 Références normatives 8
1.3 Termes et définitions 9
1.4 Symboles 10

2 Base de calcul 11
2.1 Généralités 11
2.2 Exigences 11
2.3 Actions 12
2.4 Situations de calcul et coefficients partiels 14

3 Matériaux 14
3.1 Résistance des aciers et des fils 14
3.2 Module d'élasticité 15
3.3 Coefficient de dilatation thermique 17
3.4 Coupe à longueur des éléments tendus du Groupe B 17
3.5 Longueurs et tolérances de fabrication 17
3.6 Coefficients de frottement 18

4 Durabilité des fils, câbles et torons 18
4.1 Généralités 18
4.2 Protection anticorrosion des fils individuels 18
4.3 Protection anticorrosion de la partie intérieure des éléments tendus du Groupe B 19
4.4 Protection anticorrosion de la partie extérieure des éléments tendus du Groupe B 19
4.5 Protection anticorrosion des éléments tendus du Groupe C 19
4.6 Protection anticorrosion aux attaches 20

5 Analyse structurale 20
5.1 Généralités 20
5.2 Phase de construction 20
5.3 Situation de calcul durable en service 20
5.4 Effets non linéaires des déformations 21

6 États limites ultimes 22
6.1 Barres de traction 22
6.2 Barres de précontrainte et éléments des groupes B et C 22
6.3 Selles 24
6.4 Colliers 27

7 États limites de service 28
7.1 Critères d'aptitude au service 28
7.2 Limitation des contraintes 29

8 Vibrations des câbles 30
8.1 Généralités 30
8.2 Mesures visant à limiter les vibrations des câbles 31
8.3 Estimation des risques 31

9 Fatigue 32
9.1 Généralités 32
9.2 Charges axiales variables 32

Annexe A (informative) Exigences relatives aux câbles et éléments tendus **34**
Annexe B (informative) Transport, stockage, manutention **38**
Annexe C (informative) Glossaire **39**

Avant-propos

Le présent document (EN 1993-1-11:2006) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 250 “Eurocodes structuraux”, dont le secrétariat est tenu par BSI.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en Avril 2007, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en Mars 2010.

Ce document remplace l’ENV 1993-2.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

Annexe Nationale pour l'EN 1993-1-11

La présente norme recommande des classes, avec les procédures et les valeurs correspondantes. Des Notes indiquent où des choix nationaux peuvent devoir être faits. Il convient de doter la Norme Nationale transposant l'EN 1993-1-11 d'une Annexe Nationale contenant tous les Paramètres Déterminés au niveau National à utiliser pour le dimensionnement d’éléments tendus à mettre en place dans le pays concerné.

Les paragraphes suivants de l'EN 1993-1-11 permettent d'effectuer un choix national :

- 2.3.6 (1)
- 2.3.6 (2)
- 2.4.1(1)
- 3.1(1)
- 4.4(2)
- 4.5(4)
- 5.2(3)
- 5.3(2)
- 6.2(2)
- 6.3.2(1)
- 6.3.4(1)
- 6.4.1(1)P

- 7.2(2)
- A.4.5.1(1)
- A.4.5.2(1)
- B(6)

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

(1) L'EN1993-1-11 donne les règles de calcul applicables aux structures comprenant des câbles ou éléments tendus en acier qui, de par leurs connexions avec la structure, peuvent être réglés et remplacés voir Tableau 1.1.

NOTE Ces éléments tendus (câbles), en raison de l'exigence relative à leur réglage et à leur remplacement, sont pour la plupart des produits préfabriqués livrés sur site et installés sur la structure. Les éléments tendus qui ne peuvent être ni réglés ni remplacés, par exemple les câbles suspenseurs de ponts suspendus, ou pour les ponts avec précontraintes extérieures ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme bien que des règles de cette norme puissent s'appliquer.

(2) Cette norme donne également les règles permettant de déterminer les exigences techniques relatives aux éléments préfabriqués tendus afin d'évaluer leur sûreté d'utilisation, leur aptitude à l'emploi et leur durabilité.

Tableau 1.1 - Groupes d'éléments tendus

Groupe	Principaux éléments tendus	Composant
A	tige (barre)	barres de traction, barre de précontrainte
B	fil métallique circulaire	toron hélicoïdal (monotoron)
	fils circulaires et fils en Z	câble clos
	fil métallique circulaire et fil toronné	câble torsadé
C	fil métallique circulaire	câble à fils parallèles (PWS)
	fil métallique circulaire	faisceau de fils parallèles (câble filé en l'air)
	toron (de précontrainte) à sept fils	faisceau de torons parallèles

NOTE 1 Les produits du groupe A ont généralement une seule section transversale circulaire assemblée aux extrémités (terminaisons) au moyen de filetages. Ces produits sont utilisés principalement en comme

— contreventements pour toitures, cloisons et poutres

— haubans pour éléments de toiture, pylônes

— système de tension pour les fermes mixtes bois-acier ou en acier, ainsi que structures spaciales

NOTE 2 Les produits du groupe B sont composés de fils ancrés par des culots ou autres méthodes d'ancrage et sont principalement fabriqués pour des diamètres allant de 5 mm à 160 mm, voir EN 12385-2.

Les torons hélicoïdaux sont utilisés principalement en qualité de :

— câbles de haubanage pour antennes, cheminées, mâts et ponts

— câbles porteurs et ralingues pour structures légères

— suspentes pour ponts suspendus

— câbles stabilisateurs pour réseaux de câbles, fermes en bois et en acier

— câbles de main courante pour rampes, balcons, garde-corps et autres glissières de sécurité

Les câbles clos sont fabiqués dans des diamètres variants de 20 mm à 180 mm et sont principalement utilisés comme :

— haubans, câbles de suspension et suspentes dans la construction des ponts

— câbles de suspension et câbles stabilisateurs dans les treillis à câble

— câbles périphériques pour réseaux de câbles

— haubans pour pylônes, mâts et antennes

Les câbles torsadés sont utilisés principalement comme :

— haubans pour mâts et antennes

— suspentes pour ponts suspendus

— câbles amortisseurs / aiguilles entre haubans de pont

— ralingues pour membranes en toile

— câbles de main courante pour garde-corps, balcons, ponts et autres rails de guidage.

NOTE 3 Les produits du groupe C requièrent un ancrage individuel ou collectif ainsi qu'une protection appropriée.

Les faisceaux de fils parallèles sont utilisés principalement comme haubans, câbles porteurs pour ponts suspendus et câbles de précontrainte extérieure.

Les faisceaux de torons parallèles sont utilisés principalement comme haubans ou câbles de précontrainte extérieures pour les ponts en béton, mixtes ou métalliques.

(4) Les types d'ancrage traités dans la présente partie, et applicables aux produits des groupes B et C sont :

— culotage à l'aide de métal ou résine, voir EN 13411-4

— culotage à l'aide de coulis de ciment

— boucles manchonnées, voir EN 13411-3

— manchons filés et raccords emboutis

— serre-câbles à étrier en U, voir EN 13411-5

— ancrage pour faisceaux avec clavettes pour torons, boutons formés à froid pour fils métalliques et écrous pour barres.

NOTE Pour la terminologie, voir Annexe C.

1.2 Références normatives

(1) La présente Norme européenne comporte des références datées ou non datées à d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Les références datées, les amendements ou les révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette norme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

EN 10138 *Armatures de précontrainte*

Partie 1 : Prescriptions générales

Partie 2 : Fils

Partie 3 : Torons

Partie 4 : Barres

EN 10244 *Fils et produits tréfilés en acier – Revêtements métalliques non ferreux sur fils d'acier*

Partie 1 : Principes généraux

Partie 2 : Revêtements de zinc ou d'alliage de zinc

Partie 3 : Revêtements d'aluminium

EN 10264 *Fils et produits tréfilés en acier – Fils pour câbles*

Partie 1 : Prescriptions générales

Partie 2 : Fil écroui à froid par tréfilage en acier non allié pour câbles d'usage courant

Partie 3 : Fils ronds et profilés, en acier non allié, pour fortes sollicitations

Partie 4 : Fils tréfilés en acier inoxydable

EN 12385 *Câbles en acier – Sécurité*

Partie 1 : Presciptions générales

Partie 2 : Définitions, désignation et classification

Partie 3 : Information sur l'utilisation et la maintenance

Partie 4 : Câbles à torons pour applications de levage générales

Partie 10 : Câbles spiraloïdaux pour applications générales de structures

EN 13411 *Terminaisons pour cables en acier – Sécurité*

Partie 3 : Manchons et boucles manchonnées

Partie 4 : Manchonnage à l'aide de métal ou résine

Partie 5 : Serre-câbles à étrier en U

1.3 Termes et définitions

(1) Pour les besoins de la présente Norme européenne, les termes et définitions suivants s'appliquent.

1.3.1
toron
élément de câble généralement constitué d'un assemblage de fils de sections et de dimensions appropriées, disposés de manière hélicoïdale dans le même sens ou dans des sens opposés en une ou plusieurs couches autour de l'âme

1.3.2
câble torsadé
assemblage de plusieurs torons disposés en hélice en une ou plusieurs couches autour d'une âme (câble à une couche) ou d'un centre (câble antigiratoire ou câble disposé en parallèle)

1.3.3
câble monotoron
assemblage de deux couches ou plus de fils profilés et/ou ronds disposés en hélice sur un fil central

1.3.4
toron hélicoïdal (monotoron)
câble monotoron ne comprenant que des fils ronds

1.3.5
câble clos
câble monotoron dont la couche extérieure est constituée de fils clos (fils en Z)

1.3.6
coefficient de remplissage *f*
rapport entre la somme des sections droites métalliques nominales de tous les fils du câble (A) et la section de l'enveloppe (A_u) du câble, fondée sur son diamètre nominal (d)

1.3.7
coefficient de perte au commettage *k*
coefficient de réduction dû à la fabrication inclus dans le coefficient de charge de rupture K

1.3.8
coefficient de charge de rupture (*K*)
facteur empirique utilisé dans la détermination de la charge de rupture minimale d'un câble et obtenu comme suit :

$$K = \frac{\pi \, f \, k}{4}$$

où f est le coefficient de remplissage du câble

k est le coefficient de perte au commettage

NOTE Les coefficients K des classes et des compositions de câble les plus courantes sont donnés dans la partie appropriée de l'EN 12385.

1.3.9
charge de rupture minimale (F_{min})
la charge de rupture minimale sera obtenue comme suit :

$$F_{min} = \frac{d^2 \, R_r \, K}{1000}$$

où d est le diamètre du câble en mm

K est le coefficient de charge de rupture

R_r est la classe du câble en N/mm²

1.3.10
classe du câble (R_r)
niveau d'exigence de la charge de rupture désigné par un nombre (par exemple 1770 [N/mm^2], 1960 [N/mm^2])

NOTE La classe du câble ne correspond pas nécessairement à la classe de résistance des fils composants le câble.

1.3.11
poids volumique (w)
Le poids propre du câble basé sur la section droite métallique (A_m) et ramené à l'unité de longueur [m] tient compte des poids volumiques de l'acier et de la protection anticorrosion

1.3.12
câble
principal élément tendu d'une structure (par exemple pont à haubans) pouvant consister en un câble, un toron ou un faisceau de fils ou de torons parallèles,

1.4 Symboles

(1) Dans la présente Norme, les symboles donnés en 1.6 des EN 1993-1-1 et EN 1993-1-9 s'appliquent.

(2) Des symboles additionnels sont définis lors de leur première utilisation.

NOTE Les symboles peuvent avoir différentes significations.

2 Base de calcul

2.1 Généralités

(1)P Les structures à câbles ou éléments tendus doivent être conçues conformément aux règles générales données dans l'EN 1990.

(2) Il convient d'appliquer également les dispositions supplémentaires relatives aux éléments tendus décrites dans la présente Norme.

(3) Pour améliorer la durabilité les classes d'exposition suivantes peuvent s'appliquer :

Tableau 2.1 - Classes d'exposition

Sollicitations de fatigue	Action de la corrosion	
	élément non exposé	élément exposé
absence de sollicitation de fatigue significative	classe 1	classe 2
sollicitation de fatigue principalement axiale	classe 3	classe 4
Sollicitations de fatigue axiale et latérale (vent & pluie)	–	classe 5

(4) Il convient que les attaches des câbles et éléments tendus de la structure soient remplaçables et réglables.

2.2 Exigences

(1)P Les états limites suivants doivent être pris en considération dans la vérification des éléments tendus :

1. Etat limite ultime (ELU) : la charge axiale appliquée ne doit pas dépasser la résistance de calcul en traction, voir Section 6.

2. Etat limite de service (ELS) : les niveaux de contraintes et de déformation dans les éléments ne doivent pas dépasser les valeurs limites, voir Section 7.

NOTE Pour des raisons de durabilité, les vérifications à l'ELS peuvent être plus contraignantes que les vérifications à l'ELU.

3. Fatigue : les variations de contrainte dues aux fluctuations de la charge axiale et aux oscillations dues au vent ou à l'association vent-pluie ne doivent pas dépasser les valeurs limites, voir Sections 8 et 9.

NOTE Etant données les difficultés à modéliser les caractéristiques dynamiques des éléments tendus, il convient que les vérifications aux ELS soient menées en complément des vérifications à la fatigue.

(2) Pour prévenir les détensions possibles des éléments tendus (c'est-à-dire l'atteinte d'une contrainte négative (mise en compression) occasionnant une instabilité ou de la fatigue non contrôlées ou des dommages aux éléments structuraux ou non structuraux) et pour certains types de structures, les câbles sont soumis à un préchargement par des déformations imposées (précontrainte).

Dans de tels cas, il convient que les actions permanentes qui incluent les actions dûes aux charges de pesanteur "*G*" et de précontrainte "*P*", soient considérées comme une seule action permanente simple "*G+P*" à laquelle il convient d'appliquer les coefficients partiels pertinents γ_{Gi}, voir Section 5.

NOTE Pour d'autres matériaux et d'autres méthodes de construction, d'autres règles relatives à la combinaison de "*G*" et de "*P*" peuvent s'appliquer.

(3) Il convient que toutes les liaisons aux câbles telles que selles de déviation ou colliers soient conçues pour les états limites ultimes et les états limites de service, sur la base de la résistance à la rupture ou de la résistance d'épreuve des câbles, voir Section 6. Pour la fatigue, voir l'EN 1993-1-9.

NOTE L'action de la fatigue sur les câbles dépend du rayon dans les selles de déviation ainsi que des ancrages. (voir Figure 6.1 pour le rayon minimal).

2.3 Actions

2.3.1 Poids propre des câbles

(1) Il convient que la valeur caractéristique du poids propre des câbles ou éléments tendus et de leurs éléments de liaison soit déterminée à partir de leur section droite et de la masse volumique des matériaux à moins que les parties appropriées de l'EN 12385 ne fournissent des données y afférant.

(2) Pour les câbles monotorons, les câbles clos ou les câbles torsadés, le poids propre nominal g_k peut être calculé comme suit :

$$g_k = w\, A_m \tag{2.1}$$

où A_m est la section droite métallique, en millimètres carrés ;

w [N/mm^3)] est le poids volumique tenant compte du poids volumique de l'acier et de la protection anticorrosion, voir Tableau 2.2.

(3) A_m peut être déterminée à partir de l'équation suivante :

$$A_m = \frac{\pi\, d^2}{4}\, f \tag{2.2}$$

où d est le diamètre extérieur du câble ou du toron en mm, y compris toute gaine anticorrosion ;

f est le coefficient de remplissage, voir Tableau 2.2.

Tableau 2.2 – Poids volumique w et coefficients de remplissage f

		Coefficient de remplissage *f*							poids volumique $w \times 10^{-7}$ $\left[\frac{N}{mm^3}\right]$
		Ame + 1 couche de fils en Z	Ame + 2 couches de fils en Z	Ame + >2 couches de fils en Z	Nombre de couches de fils autour de l'âme				
					1	2	3-6	>6	
1	Torons hélicoïdaux				0,77	0,76	0,75	0,73	830
2	Câbles clos	0,81	0,84	0,88					830
3	Câbles circulaires à fils torsadés				0,56				930

(4) Pour les câbles à fils ou à torons parallèles, la section droite métallique peut être déterminée à partir de

$$A_m = n\, a_m \tag{2.3}$$

où n est le nombre de fils ou de torons identiques dont est constitué le câble ;

a_m est la section droite d'un fil (calculé à partir de son diamètre) ou d'un toron (de précontrainte) (calculé à partir de la norme appropriée).

(5) Il convient de déterminer le poids propre des câbles du groupe C à partir du poids de l'acier des fils ou des torons individuels et du poids de la protection anticorrosion (polyéthylène haute densité (PEHD), cire etc.)

2.3.2 Actions du vent

(1) Il convient que les effets du vent à prendre en compte incluent :

— les effets statiques de traînée du vent sur les câbles, voir l'EN 1991-1-4, y compris les flèches et les effets de flexion à proximité des extrémités du câble,

— l'excitation aérodynamique ou autres phénomènes pouvant provoquer une oscillation des câbles, voir Section 8.

2.3.3 Charges de glace

(1) Pour les charges de glace, voir l'Annexe B de l'EN 1993-3-1.

2.3.4 Actions thermiques

(1) Il convient que les actions thermiques à prendre en compte incluent les effets des différences de températures entre les câbles et la structure.

(2) Pour les câbles extérieurs, il convient de prendre en compte les actions dues aux différences de températures conformément à l'EN 1991-1-5.

2.3.5 Précontrainte

(1) Il convient que le préchargement des câbles soit déterminé de telle sorte que, lorsque toutes les actions permanentes sont appliquées, la structure adopte le profil géométrique et la répartition des contraintes exigés.

(2) Il convient que des dispositifs de mise en tension et de réglage des câbles soient prévus et la valeur caractéristique du préchargement soit choisie afin d'obtenir le profil requis en (1) pour l'état limite considéré.

(3) Si le réglage des câbles n'est pas possible, il convient que les effets de la variation des préchargements soient considérés dans le calcul de la structure.

2.3.6 Remplacement et rupture de câbles

(1) Il convient de prendre en compte dans la conception le remplacement d'un câble quelconque, comme une situation de calcul transitoire.

NOTE L'Annexe Nationale peut définir les conditions de charge transitoires et les coefficients partiels pour le remplacement.

(2) Quand cela est requis il convient de prendre en compte la suppression soudaine de n'importe quel câble de la structure comme situation de calcul accidentelle.

NOTE 1 L'Annexe Nationale peut définir les cas d'application d'une situation de calcul accidentelle de ce type ; elle peut également indiquer les exigences de sécurité ainsi que les conditions de charge, par exemple pour les suspentes de ponts.

NOTE 2 En l'absence d'une analyse rigoureuse de l'effet dynamique d'une suppression soudaine, on peut de façon conservative utiliser l'action de la sollicitation complémentaire suivante :

$$E_d = k\, E_{d2} - E_{d1} \qquad (2.4)$$

où $k = 1{,}5$

E_{d1} représente les sollicitations de calcul avec tous les câbles intacts ;

E_{d2} représente les sollicitations de calcul après suppression du câble approprié.

2.3.7 Charges de fatigue

(1) Pour les charges de fatigue, voir l'EN 1991.

2.4 Situations de calcul et coefficients partiels

2.4.1 Situations de calcul transitoires en cours de construction

(1) Pour la phase de construction, le coefficient partiel applicable aux charges permanentes peut être adapté à la situation de calcul particulière et à l'état limite modélisé.

NOTE L'Annexe Nationale peut définir les coefficients partiels γ_{Gi} pour la phase de construction. Les valeurs recommandées γ_{Gi} sont :

$\gamma_G = 1{,}10$ pour une période de courte durée (quelques heures seulement) lors de l'installation du premier toron des faisceaux de torons installés toron par toron.

$\gamma_G = 1{,}20$ pour l'installation des autres torons dans le cas ci-dessus.

$\gamma_G = 1{,}00$ pour les effets favorables.

2.4.2 Situations durables en service

(1) Pour les vérifications à l'état limite ultime, à l'état limite de service et à la fatigue, les coefficients partiels γ_M peuvent dépendre :

— de la sévérité des conditions d'essai appliquées lors des essais de qualification ;

— des mesures visant à supprimer les effets de flexion dans l'ancrage.

NOTE Des valeurs appropriées de γ_M sont données en Section 6.

3 Matériaux

3.1 Résistance des aciers et des fils

(1) Il convient de prendre les valeurs caractéristiques f_y et f_u de l'acier de construction et $f_{0,2}$ ou $f_{0,1}$ et f_u pour les fils dans les spécifications techniques correspondantes.

NOTE 1 Pour l'acier, voir l'EN 1993-1-1 et l'EN 1993-1-4.

NOTE 2 Pour les fils, voir l'EN 10264, Parties 1 à 4.

NOTE 3 Pour les câbles du groupe B, voir l'EN 12385, Parties 4 et 10.

NOTE 4 Pour les ancrages des câbles du groupe B, voir l'EN 13411-3.

NOTE 5 Pour les torons de précontrainte, voir l'EN 10138-3.

NOTE 6 L'Annexe Nationale peut donner une valeur maximale de f_u pour des raisons de durabilité. Les valeurs suivantes sont recommandées :

- fils en acier	fils ronds :	classe de résistance nominale :	1770 N/mm²
	fils en Z :	classe de résistance nominale :	1570 N/mm²
- fils en acier inoxydable :	fils ronds :	classe de résistance nominale :	1450 N/mm²

3.2 Module d'élasticité

3.2.1 Eléments tendus du Groupe A

(1) Le module d'élasticité des éléments tendus du groupe A peut être pris égal à E = 210 000 N/mm² ; pour les barres de tension en acier inoxydable, voir l'EN 1993-1-4.

3.2.2 Eléments tendus du Groupe B

(1) Il convient de déterminer le module d'élasticité des éléments tendus du groupe B à partir d'essais.

NOTE 1 Le module d'élasticité dépend du niveau de contrainte ainsi que de la soumission ou non du câble à un pré-étirage ou à une charge répétée.

NOTE 2 la rigidité axiale du câble pour les éléments tendus des groupe B et C peut être obtenue en multipliant le module d'élasticité par la section transversale métallique A_m.

(2) Il convient d'utiliser le module sécant à la place du module d'élasticité dans l'analyse structurale pour les calculs en situation de service permanente. Il convient que les valeurs caractéristiques soient obtenues pour chaque type de câble et de diamètre et soient déterminées après un nombre suffisant de chargements cycliques (au moins 5) entre F_{inf} et F_{sup} pour s'assurer d'une valeur stable. F_{inf} et F_{sup}. sont les valeurs minimale et maximale de la force sous actions caractéristiques permanentes et variables.

(3) Pour des échantillons d'essai de faible longueur (longueur d'échantillon ≤ 10 x pas de toronnage), la valeur du fluage obtenue sera plus faible que pour un câble de grande longueur.

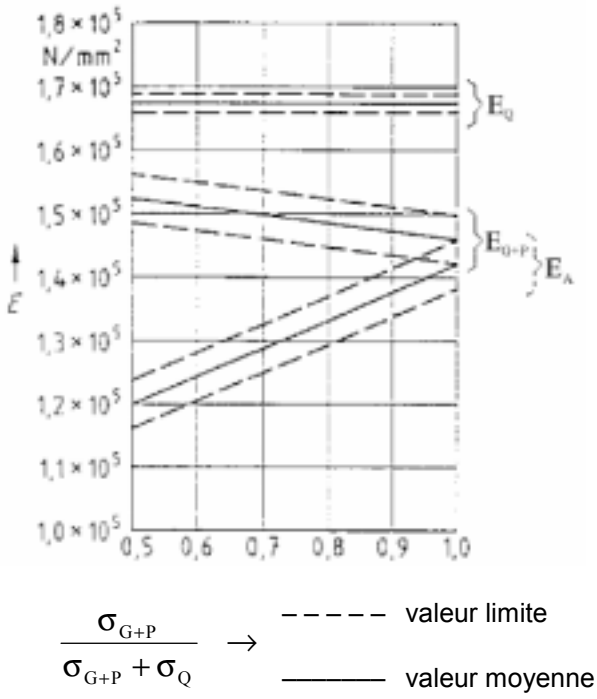
NOTE 1 En l'absence de valeurs plus précises, cet effet peut être pris en compte lors de la mise à longueur du cable en appliquant un raccourcissement supplémentaire de 0,15 mm/m.

NOTE 2 Lorsque des résultats ne sont pas disponibles, les valeurs nominales des modules d'élasticité à utiliser en premières approximations sont données au Tableau 3.1. Pour de plus amples informations, voir l'EN 10138.

Tableau 3.1 - Module d'élasticité E_Q pour charges variables Q

	câble à haute résistance	E_Q [kN/mm²]	
		fils en acier	fils en acier inoxydable
1	Torons hélicoïdaux	150 ± 10	130 ± 10
2	Câbles clos	160 ± 10	–
3	Câbles métalliques toronnés à âme (CWR)	100 ± 10	90 ± 10
4	Câbles métalliques toronnés avec fils continus (CF)	80 ± 10	–
5	Faisceau de fils parallèles	205 ± 5	–
6	faisceau de torons parallèles	195 ± 5	–

NOTE 3 Les valeurs nominales du module d'élasticité E pour les câbles clos sont données à la Figure 3.1. Ces valeurs estimées s'appliquent à un chargement cyclique compris entre 30 % et 40 % de la résistance à la rupture calculée F_{uk}.



σ_{G+P} contrainte sous les actions permanentes caractéristiques

σ_Q contrainte maximale sous les actions variables caractéristiques

E_Q module d'élasticité applicable à des situations de calcul ou en service

E_{G+P} module d'élasticité pour une analyse appropriée des situations de calcul transitoires au cours de la phase de construction jusqu'à une charge permanente $G+P$

E_A module d'élasticité pour la coupe à longueur

σA contrainte pour coupe à longueur.

Figure 3.1 - Module d'élasticité E pour les câbles clos utilisés dans les ponts

NOTE 4 Les câbles non préétirés du groupe B présentent à la fois des déformations élastiques et permanentes lorsqu'ils sont sujets à un chargement statique. Il est recommandé que de tels câbles soient préétires avant ou après leur installation en les soumettant à un chargement cyclique jusqu'à un maximum de 0,45 σ_{uk}. Pour une coupe à longueur de ces câbles, il convient de préétirer les câbles avec une précision en rapport avec les possibilités d'ajustement sur site.

NOTE 5 Pour la Figure 3.1, les hypothèses suivantes s'appliquent :

— le pas de toronnage est supérieur à 10 fois le diamètre

— la contrainte minimale est égale à 100 N/mm²

La contrainte minimale est la limite inférieure de la contrainte de traction dans un calcul élastique.

3.2.3 Eléments tendus du Groupe C

(1) Le module d'élasticité pour les éléments tendus du groupe C peut être tiré de l'EN 10138 ou du Tableau 3.1.

3.3 Coefficient de dilatation thermique

(1) il convient de prendre Le coefficient de dilatation thermique égal à :

$$\alpha_T = 12 \times 10^{-6} \text{ par °C} \quad \text{pour les fils en acier}$$
$$\alpha_T = 16 \times 10^{-6} \text{ par °C} \quad \text{pour les fils en acier inoxydable} \qquad (3.1)$$

3.4 Coupe à longueur des éléments tendus du Groupe B

(1) Le marquage des torons pour la coupe à longueur ne peut être effectué qu'à une valeur de chargement donnée.

(2) Pour une coupe à longueur exacte, il convient de prendre en considération les données suivantes :

— les valeurs mesurées de l'allongement entre σ_A et σ_{G+P} après une charge cyclique selon 3.2.2(2),

— la différence entre la température de calcul (généralement 10°C) et la température ambiante lors de la coupe à longueur,

— le fluage à long terme des câbles sous l'action des charges,

— l'allongement supplémentaire du câble après installation de colliers de câble,

— les déformations après le premier chargement.

NOTE Le fluage du câble et le tassement du culot continueront après l'installation c'est pourquoi, des valeurs de charge plus importantes peuvent être requises pendant la construction pour tenir compte de ce fluage et du tassement après refroidissement du métal et après application de la charge initiale.

3.5 Longueurs et tolérances de fabrication

(1) Il convient de mesurer la longueur totale du câble et de repérer toutes les marques de position pour la fixation des selles et des colliers sous l'effort de précontrainte prescrit.

NOTE Des marquages supplémentaires permettent des contrôles ultérieurs de la longueur exacte après installation des différents éléments.

(2) Il convient de prendre en compte les tolérances de fabrication après réalisation d'un préétirage et application de cycles de chargement et déchargement.

(3) il convient de prévoir des dispositifs de réglage lorsque les structures sont sensibles aux déplacements par rapport aux positions géométriques nominales (par exemple par fluage).

3.6 Coefficients de frottement

(1) Il convient de déterminer à partir d'essais le coefficient de frottement entre les câbles clos et leurs attaches en acier (colliers, selles, accessoires raccords).

NOTE La force de frottement peut être réduite du fait de la réduction du diamètre des câbles lorsque la tension augmente.

(2) Il convient également de déterminer à partir d'essais le coefficient de frottement pour d'autres types de câbles, voir Annexe A.

4 Durabilité des fils, câbles et torons

4.1 Généralités

(1) Pour les éléments tendus des groupes B et C avec des classes d'exposition 2, 4 et 5 selon le Tableau 2.1, Il convient que le système de protection anticorrosion protège :

1. les fils individuels contre la corrosion ;
2. la partie intérieure du câble afin de prévenir toute pénétration d'humidité ;
3. la surface extérieure contre la corrosion.

(2) Il convient que les éléments tendus du groupe C tels que définis au Tableau 1.1 aient un système de protection à deux couches avec une interface ou un matériau de remplissage intérieur entre les deux systèmes.

(3) Il convient d'appliquer des mesures de protection anticorrosion supplémentaires pour les colliers et les ancrages afin de prévenir toute pénétration d'eau.

(4) Pour le transport, le stockage et la manutention, voir Annexe B.

4.2 Protection anticorrosion des fils individuels

(1) Il convient que chaque fil en acier des éléments tendus des groupes B et C soit revêtu de zinc ou d'alliage de zinc.

(2) Pour les éléments de tension du groupe B, Il convient que le revêtement en zinc ou en alliage de zinc propre aux fils ronds soit conforme à l'EN 10264-2, classe A. Pour les fils profilés, Il convient que le revêtement soit conforme à l'EN 10264-3, classe A.

NOTE 1 Généralement les fils profilés en Z sont galvanisés avec une épaisseur de revêtement jusqu'à 300 g/m² permettant une réduction d'épaisseur aux angles vifs.

NOTE 2 Des fils revêtus avec un alliage d'aluminium et de zinc (Zn95Al5) ont une bien meilleure protection anticorrosion que les fils galvanisés au zinc ayant la même épaisseur de revêtement. Les fils ronds et les fils profilés en Z peuvent être revêtus d'une couche de Zn95Al5 ayant une masse surfacique courante.

(3) Pour les éléments tendus du groupe C, il convient que le revêtement des fils soit conforme à l'EN 10138.

4.3 Protection anticorrosion de la partie intérieure des éléments tendus du Groupe B

(1) Il convient de remplir tous les vides inter-fils des câbles avec un matériau de remplissage actif ou passif que ni l'eau, ni la chaleur ni les vibrations ne parviennent à déplacer.

NOTE 1 Les suspensions de zinc dans l'huile de polyuréthane sont des matériaux de remplissage actifs.

NOTE 2 Les matériaux de remplissage intérieur passifs peuvent prendre la forme d'une cire élasto-plastique ne durcissant pas ou de paillette d'aluminium dans une résine organique.

NOTE 3 Le matériau de remplissage appliqué lors de la fabrication des éléments tendus peut ressuer lorsque le câble est soumis à une charge, ainsi d'autres moyens de protection anti corrosion devraient être prévus en conséquence..

NOTE 4 Il convient de sélectionner le matériau de remplissage pour éviter toute incompatibilité avec les autres systèmes de protection anticorrosion appliqués au câble.

4.4 Protection anticorrosion de la partie extérieure des éléments tendus du Groupe B

(1) Après la construction, il convient d'appliquer des mesures de protection anticorrosion supplémentaires, afin de compenser les dommages subis et toute perte de zinc.

NOTE Cette protection peut consister en une gaine en polyéthylène ou une peinture riche en zinc. Il convient que l'épaisseur minimale du polyéthylène soit égale au diamètre extérieur du toron divisé par 15 sans être inférieure à 3 mm.

Il convient que le système de peinture comprenne au minimun :

— 2 couches primaires de 50 µm de polyuréthane avec poudre de zinc ;

— 2 couches de finition de 125 µm de polyuréthane avec annite.

(2) Il convient que les câbles comportant des fils et des ancrages en acier inoxydable sans protection anticorrosion supplémentaire soient conformes à la classe de résistance à la corrosion appropriée.

NOTE 1 L'Annexe Nationale peut spécifier les classes de résistance à la corrosion pour l'acier inoxydable.

NOTE 2 Le revêtement des fils avec du Zn95Al5 assure une résistance à la corrosion de ceux-ci jusqu'à un temps trois fois supérieure comparativement aux fils fortement galvanisés dans des conditions similaires.

4.5 Protection anticorrosion des éléments tendus du Groupe C

(1) les éléments tendus du Groupe C devraient être gainés à l'aide d'un tube d'acier ou de polyéthylène conformément aux normes correspondantes et les vides à l'intérieure de la gaine remplis d'un système de protection anticorrosion approprié ou de coulis de ciment.

(2) Une gaine en polyéthylène directement extrudée sur le câble ou un revêtement époxydique appliqué sur les torons individuels ou les câbles peut également être utilisé.

(3) Il convient de rendre imperméables les gaines utilisées pour les câbles au niveau des connexions avec les pièces d'ancrage. Il convient de concevoir les joints pour qu'ils ne se rompent pas lorsque la gaine est soumise à une tension.

(4) Il convient de remplir les vides avec des matériaux continus hydrophobes ne causant aucun effet préjudiciable aux éléments tendus. Autrement, le câble peut être protégé par la circulation d'un air sec à l'intérieur de la gaine

NOTE 1 Les matériaux hydrophobes continus sont des matériaux de remplissage souples tels que la graisse, la cire ou la résine souple, ou des matériaux de remplissage durs tels que le ciment. Il convient de démontrer l'adéquation des matériaux de remplissage par des essais. Le choix des matériaux de remplissage possibles peut être défini dans l'Annexe Nationale.

NOTE 2 La protection anticorrosion des câbles porteurs des ponts suspendus requiert une approche particulière. Après avoir donné au câble principal la section transversale requise, le câble est étroitement entouré à l'aide d'un fil souple galvanisé enroulé avec tension sur une pâte appropriée, permettant de remplir entièrement les vides entre les fils du câble extérieur et le fil d'enroulement. Après élimination de l'excédent de pâte de la partie extérieure du fil d'enroulement, la surface revêtue de zinc est nettoyée et peinte. Un traitement spécial est requis pour les ancrages de câbles de ponts suspendus dont le fil d'enroulement est enlevé. La déshumidification de l'air entre les fils constitue une méthode de protection courante.

4.6 Protection anticorrosion aux attaches

(1) Il convient de prendre des dispositions pour éviter toute pénétration de l'eau de pluie s'écoulant le long du câble dans les colliers les selles et les points d'ancrage.

(2) Il convient de rendre étanches les attaches sur les câbles de structure.

5 Analyse structurale

5.1 Généralités

(1)P L'analyse doit être menée pour l'état limite considéré et les conditions suivantes :

1. la phase de construction
2. les conditions de service après achèvement de la construction

5.2 Phase de construction

(1) Il convient de planifier le procédé de construction incluant la mise en place du câble, la pré-tension et la géométrie de la structure afin que les conditions suivantes soient réalisées :

— obtention de la forme géométrique recherchée,

— un état de contrainte permanent qui satisfasse aux conditions des états limites de service et ultime pour toutes les situations de calcul.

(2) Pour être conforme avec les mesures de contrôle pendant toutes les phases de construction (par exemple relevés topographiques, de pentes, de déformations, de fréquences ou de forces), il convient d'effectuer tous les calculs avec les valeurs caractéristiques des charges permanentes, des déformations imposées et de toute action imposée.

(3) Lorsque les états limites ultimes au cours du pré-chargement sont contrôlés par les effets différentiels de l'action de la force de gravité "*G*" et de la précontrainte "*P*", il convient de définir le coefficient partiel γ_P à appliquer à "P" pour cette situation.

NOTE L'Annexe Nationale peut définir γ_P. La valeur γ_P = 1,00 est recommandée.

5.3 Situation de calcul durable en service

(1) Pour toute situation de calcul durable en service, il convient de combiner les actions permanentes "G" dues à la pesanteur et aux précharges ou à la précontrainte "P" en une action permanente unique "G + P" correspondant à la forme permanente de la structure.

(2) Pour la vérification des états limites de service, il convient d'inclure l'action "*G* + *P*" dans la combinaison d'actions adéquate. Pour la vérification des états limites ultimes EQU ou STR (voir EN 1990), Il convient de multiplier les actions permanentes "*G* + *P*" par le coefficient partiel $\gamma_{G\ sup}$, lorsque les effets de l'action permanente et des actions variables sont défavorables. Si les actions permanentes "*G* + *P*" sont favorables, il convient de les multiplier par le coefficient partiel $\gamma_{G\ inf}$.

NOTE l'Annexe Nationale peut donner la valeur du coefficient partiel γ_g à appliquer à "*G*+*P*" lorsqu'on est hors du domaine d'application de l'EN 1993.

(3) Lorsque les effets non linéaires dus aux grands déplacements sont significatifs en service, Il convient de les prendre en compte, voir 5.4.

5.4 Effets non linéaires des déformations

5.4.1 Généralités

(1) Il convient de prendre en compte les déformations dues aux effets de chainette et au raccourcissement et à l'allongement des éléments y compris le fluage.

5.4.2 Effets de chainette

(1) Les effets de chainette peuvent être pris en compte en appliquant le module d'élasticité E_t à chaque câble ou segment de câble :

$$E_t = \frac{E}{1 + \dfrac{w^2\ \ell^2\ E}{12\,\sigma^3}} \tag{5.1}$$

E est le module d'élasticité du câble en N/mm²

w est le poids volumique du câble selon le Tableau 2.2 en N/mm^3

ℓ est la portée horizontale du câble en mm

σ est la contrainte dans le câble en N/mm². Pour les situations conformes au 5.3, il s'agit de σ_{G+P}.

5.4.3 Effets des déformations sur la structure

(1) Pour l'analyse au second ordre, sous charges variables, Il convient d'appliquer celles-ci au profil géométrique initial de la structure sous les charges permanentes correspondant à "*G* + *P*" pour une température donnée T_0.

(2) Pour une analyse au second ordre à l'état limite de service il convient d'appliquer la combinaison de charges caractéristique afin de déterminer les effets des actions. Les effets des actions peuvent aussi être utilisées pour les vérifications à l'état limite ultime selon 7.2

(3) Pour l'analyse au second ordre prenant en compte le comportement non linéaire de la structure à l'état limite ultime, la géométrie requise sous charge permanente à la température de référence T_0 sera acquise à partir des contraintes obtenues sous "γ_G (*G*+*P*)". Les actions variables $\gamma_Q Q_{k1} + \gamma_Q \psi_2 Q_{k2}$ seront ajoutées en prenant en compte les hypothèses appropriées relatives aux imperfections initiales.

NOTE Pour γ_G voir 5.3 (2)

6 États limites ultimes

6.1 Barres de traction

(1) Il convient de dimensionner les barres de traction pour l'état limite ultime conformément à l'EN 1993-1-1 ou à l'EN 1993-1-4 selon le type d'acier utilisé.

6.2 Barres de précontrainte et éléments des groupes B et C

(1)P Pour l'état limite ultime, il doit être vérifié que

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \tag{6.1}$$

où F_{Ed} est la valeur de calcul de l'effort axial du câble

F_{Rd} est la valeur de calcul de la résistance à la traction.

(2) Il convient de calculer la valeur de calcul de la résistance à la traction F_{Rd} comme suit :

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1{,}5\ \gamma_R} ; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \tag{6.2}$$

où F_{uk} est la valeur caractéristique de la résistance à la rupture,

F_k est la valeur caractéristique de la résistance d'épreuve des éléments tendus comme donnée dans le Tableau 6.1.

γ_R est le coefficient partiel.

NOTE 1 F_{uk} correspond à la valeur caractéristique de la résistance ultime à la traction.

Tableau 6.1 – Résistance d'épreuve des éléments tendus

Groupe	Norme correspondante	Résistance d'épreuve F_k
A	EN 10138-1	$F_{0,1k}$ *)
B	EN 10264	$F_{0,2k}$
C	EN 10138-1	$F_{0,1k}$
*) Pour les barres précontraintes, voir l'EN 1993-1-1 et l'EN 1993-1-4.		

NOTE 2 La vérification par rapport à F_k assure que l'élément restera dans le domaine élastique quand les actions atteindront leur valeur de calcul. Pour les éléments (par exemple câbles clos), pour lesquels $F_k \geq \frac{F_{uk}}{1{,}50}$, cette vérification n'est pas exigée.

NOTE 3 Les essais de production permettent de démontrer que les valeurs expérimentales F_{uke} et F_{ke} satisfont l'exigence.

$F_{uke} > F_{uk}$,

$F_{ke} > F_k$,

Voir l'EN 12385, partie 1.

NOTE 4 Le coefficient partiel γ_R peut être spécifié dans l'Annexe Nationale. Sa valeur dépend du fait que des précautions ont été prises ou non au niveau des extrémités de câbles afin de réduire les moments fléchissants dus aux rotations des câbles, voir 7.1(4). Les valeurs de γ_R du Tableau 6.2 sont recommandées.

Tableau 6.2 - Valeurs γ_R recommandées

Mesures constructives visant à minimiser les contraintes de flexion aux ancrages	γ_R
Oui	0,90
Non	1,00

(3) Pour les barres de précontrainte et les câbles du groupe C, il convient de déterminer la valeur caractéristique de la résistance à la rupture à partir de :

$$F_{uk} = A_m f_{uk} \tag{6.3}$$

où A_m est la section droite métallique, voir 2.3.1

f_{uk} est la valeur caractéristique de la résistance à la traction des barres, des fils ou des torons (de précontrainte) selon la norme correspondante.

(4) Pour les câbles du groupe B, il convient de calculer F_{uk} comme suit :

$$F_{uk} = F_{min} k_e \tag{6.4}$$

où F_{min} est déterminé conformément à l'EN 12385-2, comme suit :

$$F_{min} = \frac{K\ d^2\ R_r}{1000}\ [KN] \tag{6.5}$$

où K est le coefficient de la charge de rupture minimale compte tenu de la perte au commettage ;

d est le diamètre nominal du câble en mm ;

R_r est la classe du câble en N/mm^2 ;

k_e est le coefficient de perte au commettage donné dans le Tableau 6.3 pour certains types d'ancrage.

NOTE K, d, R_r sont spécifiés pour tous les câbles dans l'EN 12385-2.

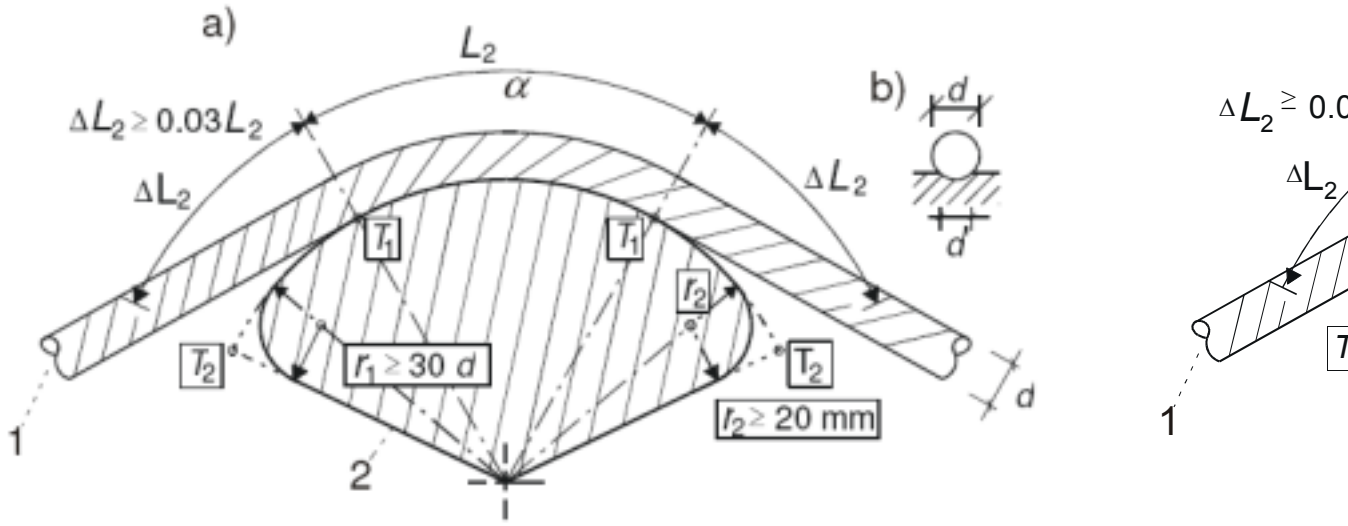
Tableau 6.3 - Coefficients de perte k_e

Type de d'ancrage	Coefficient de perte k_e
culot en métal	1,0
culot en résine	1,0
Boucle manchonnée avec protection métallique	0,9
Manchon filé ou serti	0,9
Serre-câble à étrier en U	0,8 *)
*) Il est possible de réduire la précharge pour les serre-câbles à étrier en U.	

6.3 Selles

6.3.1 Conditions géométriques

(1) .Lorsque les selles ont une géométrie respectant les exigences de la Figure 6.1, (2) et (3), les contraintes dues à la courbure des fils peuvent être négligées dans le calcul.



1 torons / câble

2 selle

L_2 longueur du toron/câble entre les deux points de tangence théoriques T_1 sous la combinaison caractéristique de charges la plus défavorable et les effets de chainette.

ΔL_2 longueur d'enroulement supplémentaire

Figure 6.1 – Passage d'un toron/ câble sur une selle

NOTE Le respect des exigences en (1) ci dessus conduira à une diminution de la résistance à la rupture du toron ou du câble de moins de 3%.

(2) Il convient que le rayon r_1 de la selle ne soit pas inférieur à la plus grande des valeurs ; 30 *d* et 400 ∅, où :

∅ est le diamètre du fil.

d est le diamètre du câble

d' est la largeur de contact

(3) La valeur de r_1 peut être réduite à 20*d* lorsque l'appui du câble sur au moins 60% de son diamètre est recouvert d'un revêtement en métal mou ou d'un revêtement par projection de zinc d'une épaisseur minimale de 1 mm.

(4) Des rayons plus petits peuvent être utilisés pour les câbles torsadés ou hélicoïdaux lorsque des essais le justifient.

NOTE Il convient de déterminer la position de T_1 et T_2 avec les cas de charge prenant en compte le mouvement des appuis et des câbles.

6.3.2 Glissement des câbles sur les selles

(1) Pour éviter le glissement, Il convient de vérifier les conditions suivantes :

$$\max\left\{\frac{F_{Ed1}}{F_{Ed2}}\right\} \le e^{\left\{\frac{\mu\alpha}{\gamma_{M,fr}}\right\}} \tag{6.6}$$

où F_{Ed1} et F_{Ed2} sont les valeurs de calcul des forces maximale et minimale exercées sur le câble de chaque côté de la selle,

μ est le coefficient de frottement entre le câble et la selle ;

α est l'angle en radians du câble passant sur la selle ;

$\gamma_{M,fr}$ est le coefficient partiel de frottement.

NOTE Le coefficient partiel γ_{Mfr} peut être donné dans l'Annexe Nationale. La valeur γ_{Mfr} = 1,65 est recommandée.

(2) Si (1) n'est pas satisfait, Il convient d'ajouter des colliers pour transmettre une force radiale supplémentaire F_r telle que :

$$\frac{F_{Ed1} - \dfrac{k\,F_r\,\mu}{\gamma_{Mfr}}}{F_{Ed2}} \le e^{\left[\frac{\mu\alpha}{\gamma_{M,fr}}\right]} \tag{6.7}$$

où k est normalement pris égal à 2,0 si un frottement total peut se développer entre les gorges de la selle et le collier, et si F_r n'est pas supérieur à la résistance du câble aux efforts de serrage, voir 6.3.3, sinon k=1,0 ;

$\gamma_{M,fr}$ est le coefficient partiel de résistance au frottement.

(3) Pour déterminer le serrage F_r par des boulons précontraints, Il convient de prendre en considération les effets suivants :

a) fluage à long terme ;

b) réduction du diamètre en cas d'augmentation de la tension ;

c) compactage/tassement du câble ou ovalisation ;

d) réduction de la précontrainte exercée sur les boulons de serrage des colliers par les forces extérieures ;

e) différence de température.

6.3.3 Pression transversale

(1)P La pression transversale q_{Ed} due à l'effort de serrage radial F_r doit être limitée à :

$$\frac{q_{Ed}}{q_{Rd}} \leq 1 \tag{6.8}$$

où $q_{Ed} = \dfrac{F_r}{d^{/} L_2}$ et $0{,}6\mathrm{d} \leq \mathrm{d}^{/} \leq \mathrm{d}$, (pour *d'* voir Figure 6.1b)

$$q_{Rd} = \frac{q_{Rk}}{\gamma_{M,bed}}$$

q_{Rk} est la valeur limite de la pression transversale déterminée à partir d'essais

$\gamma_{M,bed}$ est le coefficient partiel.

NOTE Il n'est pas nécessaire pour calculer q_{Rd} de tenir compte de la pression obtenue avec F_{Ed1} dans la mesure où elle est limitée par les règles définies au 6.3.1.

(2) En l'absence d'essais, Il convient de prendre les valeurs limites de la pression transversale q_{Rk} dans le Tableau 6.4.

NOTE 1 L'utilisation des valeurs limites q_{Rk} avec $\gamma_{M,bed}$ = 1,0 devrait conduire à une réduction de moins de 3% de la résistance à la rupture du câble..

Tableau 6.4 - Valeurs limites q_{Rk}

Type de câble	q_{Rk} [N/mm²]	
	Colliers et selles en acier	Colliers et selles à garniture de protection
Câble clos	40	100
Toron hélicoïdal (monotoron)	25	60

NOTE 2 Avec des colliers à garniture de protection, il convient d'avoir une couche de revêtement en métal mou ou en zinc projeté d'une épaisseur minimale de 1 mm.

6.3.4 Conception des selles

(1) Il convient de concevoir les selles de câbles pour un effort dans le câble égale à *k* fois la résistance à la rupture caractéristique F_{uk} des câbles.

NOTE Le coefficient *k* peut être spécifié dans l'Annexe Nationale. La valeur *k* = 1,10 est recommandée.

6.4 Colliers

6.4.1 Glissement des colliers

(1)P Lorsque les colliers transmettent des forces longitudinales à un câble et lorsque les demi-colliers (voir Figure 6.2) ne sont pas conjugués l'un à l'autre par des clés de cisaillement, tout glissement doit être prévenu en vérifiant :

$$F_{Ed_{||}} \leq \frac{\left(F_{Ed_{\perp}} + F_r\right)\mu}{\gamma_{M,fr}} \tag{6.9}$$

où $F_{Ed_{||}}$ est la composante de la charge de calcul externe parallèle au câble

$F_{Ed_{\perp}}$ est la composante de la charge de calcul externe perpendiculaire au câble

F_r est la composante radiale de l'effort de serrage considéré pouvant être réduit par les éléments définis au 6.3.2(3)

μ est le coefficient de frottement

$\gamma_{M,fr}$ est le coefficient partiel de frottement

NOTE 1 Le coefficient partiel $\gamma_{M,fr}$ peut être spécifié dans l'Annexe Nationale. la valeur $\gamma_{M,fr}$ = 1,65 est recommandée.

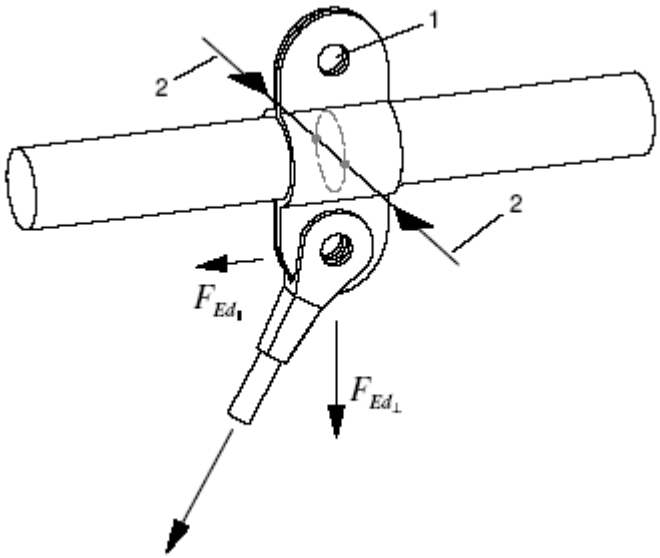
NOTE 2 F_r peut être augmenté ou réduit par les forces externes suivant leur mode d'application sur le collier du câble

6.4.2 Pression transversale

(1) Il convient que la pression transversale due à l'application de la plus grande des forces $F_{Ed_{\perp}}$ ou $F_{Ed_{\perp}} + F_r$ réponde aux exigences du 6.3.3.

6.4.3 Conception des colliers

(1) Il convient que les colliers et leurs accessoires de liaison tels que des suspentes au câble principal soient calculés pour une force conventionnelle égale à 1,15 fois la charge d'épreuve F_k de l'élément auxiliaire ancré (avec collier), voir Figure 6.2.



1 Trou pour boulons précontraints
2 Précharge F_r exercée par les boulons précontraints

Figure 6.2 - Collier

NOTE F_k n'est pas directement lié à l'ELS. Par l'utilisation de F_k, un dimensionnement en capacité est appliqué.

7 États limites de service

7.1 Critères d'aptitude au service

(1) Il convient de prendre en considération les critères d'aptitude au service suivants.

1. Les déformations ou les vibrations

2. Le comportement élastique en service

NOTE 1 Les limites applicables aux déformations ou aux vibrations peuvent entraîner des ajustements sur la rigidité de l'ensemble de la stucture, les dimensions et la précharge des câbles ou éléments à haute résistance tendus, ainsi que la résistance au glissement des attaches.

NOTE 2 Les limitations visant au comportement élastique et à la durabilité sont liées aux valeurs maximale et minimale des contraintes sous combinaisons de charges ELS.

(2) Les contraintes de flexion dans la zone d'ancrage peuvent être réduites par l'adoption de dispositions constructives (par exemple utilisation de guides déviateurs en néoprène pour résister aux chargements transversaux).

7.2 Limitation des contraintes

(1) Des limites de contrainte peuvent être spécifiées pour des combinaisons de charge caractéristiques avec les objectifs suivants :

— maintenir les contraintes dans le domaine élastique pour les situations de calcul applicables au cours des phases de construction et en service,

— limiter les déformations de telle sorte que le système anticorrosion ne soit pas affecté, par exemple par la fissuration des gaines, des remplissages durs, ou l'ouvertures de joints etc. Et aussi pour pallier les incertitudes du calcul à la fatigue,

— vérifier aux ELU la réponse linéaire et non linéaire de la structure aux actions.

(2) Les limitations de contrainte devraient être reliées à la résistance à la rupture comme suit :

$$\sigma_{uk} = \frac{F_{uk}}{A_m} \tag{7.1}$$

voir équation (6.3).

NOTE 1 L'Annexe Nationale peut fournir des valeurs pour les limites de contrainte f_{const} et f_{SLS}. Les valeurs recommandées relatives aux limites de contrainte f_{const} sont données dans le Tableau 7.1 pour les phases de construction et celles relatives aux limites de contrainte f_{SLS} sont données dans le Tableau 7.2 pour les conditions de service.

Tableau 7.1 - Limites de contrainte f_{const} pour les phases de construction

Phase de montage	$f_{const.}$
Premiers éléments tendus pour uniquement quelques heures	0,60 σ_{uk}
Après installation des autres éléments tendus	0,55 σ_{uk}

NOTE 2 Les limites de contrainte sont obtenues par l'équation suivante

$$f_{const} = \frac{\sigma_{uk}}{1{,}50\gamma_R\gamma_F} = \frac{0{,}66\,\sigma_{uk}}{\gamma_R\gamma_F} \tag{7.2}$$

avec $\gamma_R \times \gamma_F$ = 1,0 × 1,10 = 1,10 pour des situations à court terme

$\gamma_R \times \gamma_F$ = 1,0 × 1,20 = 1,20 pour des situations à long terme

Tableau 7.2 - Limites de contrainte f_{SLS} pour les conditions de service

Conditions de chargement	f_{SLS}
Calcul de la fatigue y compris contraintes de flexion *	0,50 σ_{uk}
Calcul de la fatigue sans contraintes de flexion	0,45 σ_{uk}
*) Les contraintes de flexion peuvent être réduites par l'adoption de dispositions constructives, voir 7.1(4).	

NOTE 3 Les limites de contrainte sont obtenues par l'équation suivante :

$$f_{SLS} = \frac{\sigma_{uk}}{1{,}50\ \gamma_R \gamma_F} = \frac{0{,}66\ \sigma_{uk}}{\gamma_R \gamma_F} \tag{7.3}$$

avec $\gamma_R \times \gamma_F$ = 0,9 × 1,48 = 1,33 avec contraintes de flexion

$\gamma_R \times \gamma_F$ = 1,0 × 1,48 = 1,48 sans contraintes de flexion

où $\gamma_F \approx \gamma_Q$ = 1,50 ≈ 1,48

NOTE 4 La limite de contrainte f_{SLS} = 0,45 σ_{uk} est utilisée pour les essais, voir Annexe A.

8 Vibrations des câbles

8.1 Généralités

(1) Pour les câbles extérieures (par exemple pour les haubans), il convient d'analyser le risque de vibrations dues au vent pendant et après le montage ainsi que leur conséquence pour la sécurité.

(2) Les forces aérodynamiques du vent sur le câble peuvent être dues :

a) à la réponse dynamique aux turbulences du flux d'air incident

b) à l'échappement tourbillonaire (sous l'action des tourbillons alternés de Von Karman dans le sillage à l'arrière du câble)

c) au galop (auto-excitation)

d) au galop de sillage (interaction aéro-élastique des câbles voisins)

e) à l'interaction du vent, de la pluie et du câble

NOTE Un câble ayant une section transversale circulaire ne peut faire l'objet d'un galop pour des raisons de symétrie. Ce phénomène peut se produire sur des câbles dont les formes sont modifiées, du fait de l'accumulation de glace ou de poussière. Les forces dues à c), d) et e) sont fonction du déplacement du câble (réaction) et celles, dues à l'instabilité aéroélastique qui en résulte entraînent des vibrations de grandes amplitudes à partir d'une vitesse critique du vent. Dans la mesure où le mécanisme d'excitation dynamique ne fait pas encore l'objet d'une modélisation suffisante permettant d'établir des prévisions fiables, il convient d'adopter des mesures visant à limiter les vibrations non prévues.

(3) Les vibrations des câbles peuvent également être dues aux forces dynamiques agissant sur les autres parties de la structure (tablier, pylône).

NOTE Ce phénomène, auquel il est souvent fait référence sous le terme d'"excitation paramétrique", est responsable de vibrations de grandes amplitudes en cas de superposition entre les fréquences propres du câble et les fréquences propres de la structure.

8.2 Mesures visant à limiter les vibrations des câbles

(1) Il convient que des structures supportées par des câbles soient mises sous surveillance continue vis-à-vis des vibrations excessives dues au vent et à la pluie soit, par une inspection visuelle, soit au moyen d'autres méthodes permettant de déterminer avec une plus grande précision les amplitudes, modes propres et fréquences impliqués.

(2) Lors de la conception d'une structure à câbles il convient de prévoir la possibilité de mettre en place des mesures contre les vibrations pendant ou après le montage.

(3) De telles mesures peuvent comporter :

a) la modification de la surface du câble (contour aérodynamique) ;

b) l'utilisation d'amortisseurs ;

c) l'utilisation de câbles de stabilisation (par exemple câbles d'interconnexion avec des assemblages appropriés).

8.3 Estimation des risques

(1) Lors de la conception, il convient d'éviter la vibration des câbles due à l'interaction pluie-vent ; cela peut impliquer l'utilisation de haubans présentant une surface de texture adéquate.

(2) Le risque de vibration augmente avec la longueur du hauban. Les haubans de faible longueur (inférieure environ à 70 – 80 m) n'entraînent généralement aucun risque autre que celui de résonance paramétrique dans le cas d'une structure particulièrement instable (tablier flexible de section mal profilée). Par conséquent, il n'est, en général, pas nécessaire de prévoir des amortisseurs sur les haubans de faible longueur.

(3) Il convient, dans le cas des haubans de grande longueur (supérieure à 80 m), d'installer des amortisseurs de manière à obtenir un rapport d'amortissement critique supérieur à 0,5 %. Il peut être possible de se dispenser d'amortisseurs pour les haubans des travées de rive lorsque les portées sont si courtes que tout déplacement important des ancrages est peu probable.

(4) Il convient d'apprécier le risque de résonance paramétrique lors de la phase de conception au moyen d'une étude détaillée des modes propres de la structure et des haubans, impliquant le rapport des fréquences et le déplacement des ancrages pour chaque mode.

(5) Il convient de prendre des mesures pour éviter la superposition des fréquences, c'est-à-dire les situations dans lesquelles la fréquence propre Ω des haubans est à 20 % près de la fréquence ω_h ou $2\omega_h$ de la structure. Des câbles de stabilisation peuvent si nécessaire être utilisés pour décaler les fréquences propres des haubans.

(6) Pour le confort des usagers et leur sécurité, il convient de limiter l'amplitude de vibration des haubans en utilisant un critère de réponse telle qu'avec une vitesse du vent modérée de 15 m/s, l'amplitude de vibration des haubans n'excède pas $L/500$, où L est la longueur des câbles.

9 Fatigue

9.1 Généralités

(1) Il convient de déterminer la résistance à la fatigue des câbles et éléments tendus suivant la classe d'exposition 3, 4 ou 5 du Tableau 2.1 en utilisant les actions de fatigue définies dans l'EN 1991 ainsi que la catégorie de détail appropriée.

(2) La rupture de fatigue des câbles se produit généralement au niveau des ancrages, selles ou colliers. Il convient de déterminer préférablement la catégorie de détail à la fatigue dans ces endroits à partir d'essais représentant la configuration réelle et reproduisant tout effet de flexion ou contrainte transversale susceptible de se produire dans la pratique. Il convient de réaliser les essais conformément à l'EN 1990 – Annexe D.

9.2 Charges axiales variables

(1) En l'absence des essais décrits au 9.1(2) ci-dessus, les courbes de résistance à la fatigue et les classes de détails peuvent être obtenues respectivement à la Figure 9.1 et dans le Tableau 9.1.

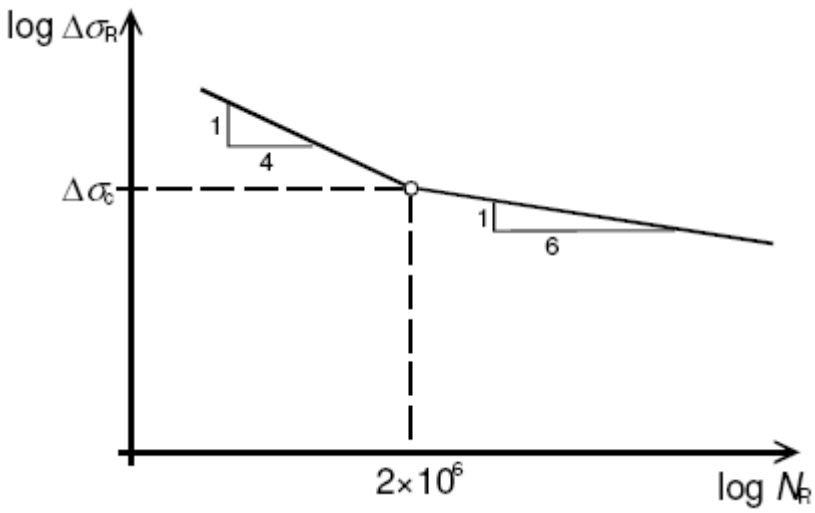


Figure 9.1 - Courbes de résistance à la fatigue pour les câbles et éléments tendus

Tableau 9.1 – Catégories de détail de résistance à la fatigue conformèment à l'EN 1993-1-9

Groupe	Eléments tendus		$\Delta\sigma_c$ [N/mm²]
A	1	Barres précontraintes	105
B	2	Câble clos avec culotage en métal ou en résine	150
	3	Câbles monotorons avec culotage en métal ou en résine	150
C	4	Torons à fils parallèles avec culotage époxydique	160
	5	Faisceau de torons parallèles	160
	6	Faisceau de fils parallèles	160

NOTE Les catégories de détail définies dans le Tableau 9.1 font référence aux classes d'exposition 3 et 4 selon le Tableau 2.1. Pour les actions de fatigue axiales et latérales (classe d'exposition 5 selon le Tableau 2.1), l'adoption de mesures de protection supplémentaires se révèle nécessaire afin de minimiser les contraintes de flexion.

(2) Les catégories indiquées en (1) sont uniquement valables lorsque les conditions suivantes sont respectées :

a) les câbles avec culots satisfont aux exigences de base définies à l'Annexe A ;

b) la conception des câbles, selles et colliers satisfait la Section 6 ;

c) les oscillations aérodynamiques importantes des câbles sont évitées, voir Section 8 ;

d) une protection anticorrosion adéquate est prévue, voir Section 4.

(3) Pour les calculs à la fatigue, voir l'EN 1993-1-9.

Annexe A
(informative)

Exigences relatives aux câbles et éléments tendus

A.1 Domaine d'application

(1) La présente Annexe spécifie les exigences relatives aux câbles ou éléments tendus et à leurs ancrages destinés à être utilisés dans la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

(2) Les exigences sont basées sur l'utilisation spécifique des éléments tendus incluant les conditions environnementales et de chargement.

(3) Les types suivants de câbles et éléments tendus sont couverts

— Groupe A : systèmes de barres de traction, barres de précontrainte

— Groupe C : faisceaux de fils parallèles, faisceaux de barres, faisceaux de torons parallèles

A.2 Exigences de base

(1) Il convient que les câbles ou éléments tendus satisfassent aux critères :

1. résistance et ductilité du câble et de ses ancrages ;

2. résistance à la fatigue sous charges axiales variables, contraintes de flexion, écarts angulaires dus aux effets de chaînette, aux forces du vent et aux imperfections de montage ;

3. stabilité de la rigidité axiale et de flexion du câble (par exemple en garantissant le pré-chargement) ;

4. protection du câble et des ancrages contre la corrosion ;

5. résistance à l'usure au niveau de tout contact entre les pièces en acier.

(2) Les extrémités et les ancrages des câbles ou éléments tendus devraient être conçus de sorte que :

1. la résistance ultime du câble ou de l'élément tendu soit atteinte avant que ne se produise toute plastification ou autre déformation permanente de l'ancrage ou des éléments d'appui ;

2. leur résistance à la fatigue soit supérieure à celle des composants ;

3. des dispositifs soient prévus pour permettre un réglage adéquat de la longueur des composants afin de satisfaire aux exigences relatives au préchargement, aux tolérances géométriques etc. ;

4. une articulation suffisante à l'ancrage soit prévue pour pallier aux imperfections de fabrication et de montage ;

5. les câbles ou éléments tendus puissent être remplacés.

(3) il convient de satisfaire les exigences ci-dessus par :

— un choix approprié des matériaux pour les fils, torons, aciers, systèmes de protection ;

— un choix de forme de construction dans le respect de la résistance, de la rigidité, de la ductilité de la durabilité ainsi qu'une résistance aux aléas de fabrication, transport, manutention et installation ;

— un contrôle de la qualité de mise en place des extrémités afin d'assurer un alignement précis des câbles en service.

(4) Il convient de vérifier le respect de ces exigences par des essais dans le cadre d'un système de management de la qualité approprié.

A.3 Matériaux

(1) Il convient que tous les matériaux utilisés satisfassent aux spécifications techniques européennes..

(2) Il convient de qualifier le système de protection anticorrosion y compris la durabilité des matériaux de remplissage et de protection par des essais de convenance appropriés.

NOTE Les essais peuvent permettre d'évaluer les fonctions de base suivantes :

— protection contre les agents agressifs (produits chimiques, fissuration sous corrosion, UV, chocs) ;

— étanchéité à l'eau (souplesse et durabilité en cas de flexion du câble) ;

— tenue de la couleur (si nécessaire).

A.4 Exigences relatives aux essais

A.4.1 Généralités

(1) Il convient de réaliser les essais suivants sur les fils, torons, barres et éléments tendus complets pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

(2) Il convient de déterminer $F_{0,1ke}$ et $F_{uk,e}$ (voir 6.2) par un essai de traction statique. Si cela est requis (par exemple la coupe à la longueur (voir 3.4) et l'analyse structurale (voir 5)), il convient que les essais suivent les historiques de contrainte dans le câble prévus sur la structure pour mesurer toutes les données utiles.

(3) Il convient d'effectuer un nombre suffisant d'essais de fatigue sous charge axiale avec la valeur σ_{sup} = 0,45 σ_{uk} (voir 7.2(2)) et avec différentes valeurs de ΔF, voir Tableau A.4.1 Pour déterminer la courbe de résistance à la fatigue, si cela est requis.

NOTE Il convient de conduire les essais de fatigue sous charge contrôlé et non sous déplacement contrôlé.

Tableau A.4.1 – Exigences pour les essais à la fatigue

Type d'essai		Charge de fatigue avant essai de rupture
1	essai sous charge axiale (classes 3 et 4)	σ_{sup} = 0,45σ_{uk} $\Delta\sigma$ selon $\Delta\sigma_c$ donnée dans le Tableau 9.1 $\Delta\alpha$ = 0 n = 2×10^6 cycles
2	essai sous charge axiale et de flexion classe(5)	σ_{sup} = 0,45σ_{uk} $\Delta\sigma$ selon $\Delta\sigma_c$ donnée dans le Tableau 9.1 $\Delta\alpha$ = 0 – 10 milliradians (0 – 0,7 degrés) n = 2×10^6 cycles

(4) Si l'élément tendu est soumis à une charge de fatigue et lorsque la résistance à la fatigue fait l'objet d'une vérification selon 9.2 (2), il convient d'effectuer au moins un essai pour chaque diamètre de l'élément. Il convient de vérifier que pour tout essai sous charge axiale avec σ_{sup} = 0,45 σ_{uk} et $\Delta\sigma$ = 1,25 $\Delta\sigma_c$ (voir Tableau 9.1) et après 2·10^6 cycles, le nombre de fils cassés est < 2% du nombre de fils total. Il convient que le matériau d'ancrage ou tout composant de l'ancrage ne fasse l'objet d'aucune rupture au cours des essais de fatigue. Aucune rupture n'est acceptable pour les barres.

(5) Si le rayon de déviation à l'entrée du câble dans le culot est inférieur à 30d (voir figure 6.1), il convient que les essais décrits en (2) et (3) soient effectués avec l'angle prévu $\Delta\alpha$, régi par le rayon de déviation .

(6) Après application du chargement de fatigue, il convient que l'éprouvette soit soumise à un essai de traction à la rupture et qu'il soit développé une force de traction minimale égale à la plus grande des deux valeurs, soit 92% de la résistance à la traction réelle du câble soit 95% de la résistance à la traction garantie du câble. Il convient que la déformation sous cette charge maximale ne soit pas être inférieure à 1,5%.

(7) Il convient d'effectuer les essais de fatigue conformément à l'EN 10138 avec des échantillons de torons, fils ou barres prélevés sur chaque lot de fabrication d'éléments tendus.

A.4.2 Armatures tendues

A.4.2.1 Fils

(1) Il convient que les fils revêtus de zinc ou d'alliage de zinc soient testés avec un appareil d'essai agréé.

A.4.2.2 Torons

(1) Il convient de mesurer par essai la résistance à la traction, la limite d'élasticité à 0,1% et l'allongement conformément à l'EN 10138.

A.4.2.3 Barres

(1) Il convient de mesurer par essai la résistance à la traction, la limite d'élasticité à 0,1% et l'allongement conformément à l'EN 10138.

A.4.3 Torons et câbles complets

(1) Si plusieurs tailles d'un même type de toron / câble sont utilisés, il convient de réaliser au moins 3 essais représentatifs. Les câbles doivent être testés avec l'ensemble de leurs accessoires, et la charge d'essai doit être appliquée de la même façon que sur la structure.

A.4.4 Coefficient de frottement

(1) Si le coefficient de frottement entre les torons et les selles, colliers etc. est déterminé par essai il convient de prendre en compte les effets suivants :

— les effets des charges axiales sur le diamètre des torons,

— les effets de fluage dus au serrage transversal (sur le matériau de remplissage et le revêtement de zinc.

(2) Dans l'évaluation des résultats d'essai il convient d'accorder une attention toute particulière au fait que le frottement peut être favorable ou préjudiciable sur l'effet considéré.

A.4.5 Protection anticorrosion

A.4.5.1 Etanchéité

(1) Il convient de vérifier la durabilité des câbles après mise en place d'un montage d'essai avec "vieillissement accéléré" permettant de simuler les cycles de chargement axiaux et de flexion ainsi que de température. Il convient que les essais soient menés pour une section représentative du câble incluant ses ancrages, gaines etc.

NOTE Pour les détails des essais, voir l'Annexe Nationale.

A.4.5.2 Barrières de protection anticorrosion

NOTE Pour les détails des essais, par exemple essais au brouillard salin, voir l'Annexe Nationale.

Annexe B
(informative)

Transport, stockage, manutention

(1) Les câbles monotorons et les câbles clos sont fournis enroulés sur des bobines.

(2) Afin de prévenir toute déformation irréversible du câble, il convient que le diamètre d'enroulement minimal ne soit pas inférieur à 30 fois le diamètre des câbles clos, à 24 fois le diamètre des torons hélicoïdaux et à 16 fois le diamètre des câbles torsadés,

NOTE Le diamètre minimal dépend du système de protection, de la durée de stockage et de la température. Tout déroulement à des températures inférieures à 5 °C doit faire l'objet d'une attention particulière.

(3) Lorsque les câbles sont stockés enroulés, il convient que chaque bobine soit suffisamment ventilée (pas de contact direct avec le sol) afin de prévenir toute formation de rouille blanche pouvant être provoquée par de la condensation ou de l'humidité.

(4) Il convient de manutentionner les câbles avec soin lors de leur mise en place. Le déroulement horizontal des bobines requiert l'utilisation d'une plaque tournante.

(5) Il convient que les câbles :

— aient leur sertissage retiré avant leur installation,

— soient pliés suivant un rayon plus petit que 30 fois le diamètre du câble,

— soient tirés sur des arêtes vives,

— soient tordus ou détordus (observer la ligne de marquage des câbles).

(6) Il convient que les éléments tendus soient instrumentés et inspectés durant leur durée de vie afin de s'assurer du respect des conditions de calcul, de l'état de corrosion et de non endommagement.

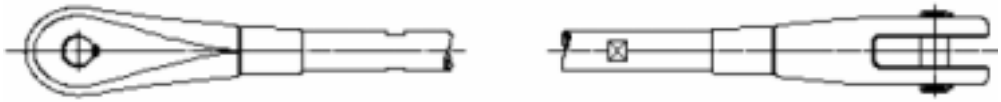
NOTE L'Annexe Nationale peut donner d'autres recommandations pour l'instrumentation et l'inspection.

Annexe C
(informative)

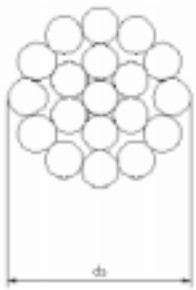
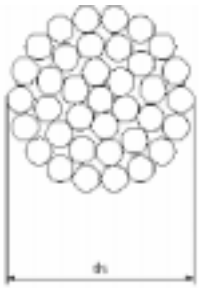
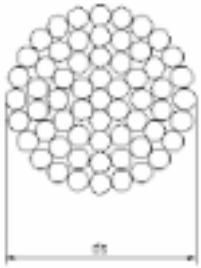
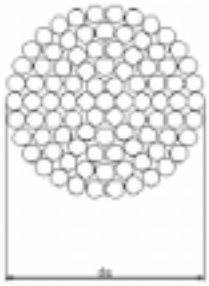
Glossaire

NOTE Voir l'EN 12385, partie 2.

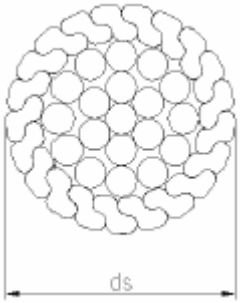
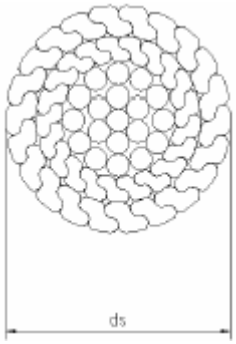
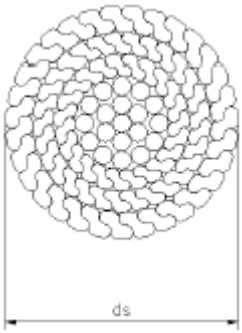
C.1 Produits du groupe A

Système de barres de traction


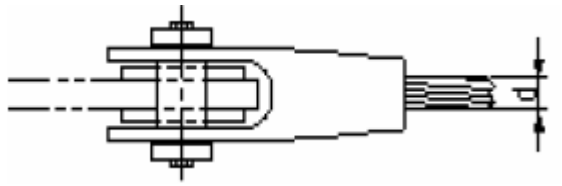
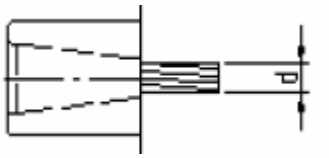
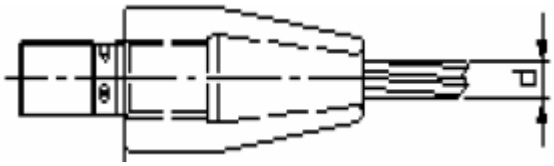
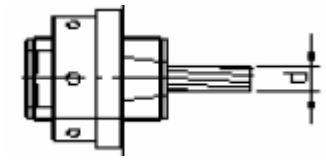
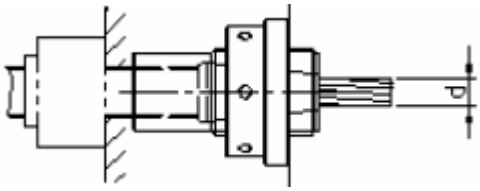
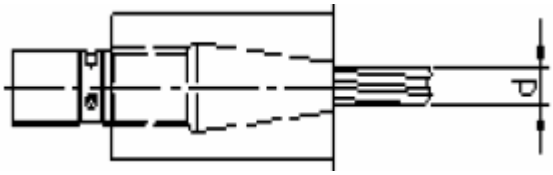
C.2 Produits du groupe B

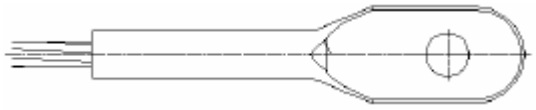
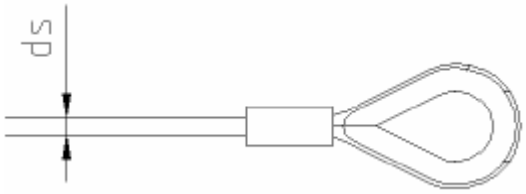
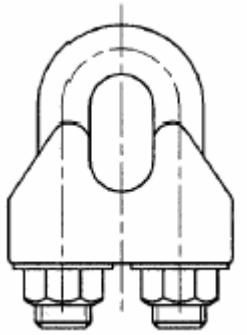
Toron hélicoïdal (monotoron)				
				
Composition	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
Diamètre d_s [mm]	3 à 14	6 à 36	20 à 40	30 à 52
Toron	1	1	1	1
Fils par toron	19	37	61	91
Fils extérieurs par toron	12	18	24	30
Coefficient de section métallique nominale *C*	0,6	0,59	0,58	0,58
Coefficient de charge de rupture *K*	0,525	0,52	0,51	0,51

Câble torsadé				
Composition	6 × 19 - CF	6 × 19 - CWS	6 × 36WS - CF	6 × 36 WS- CWR
Diamètre d_s [mm]	6 à 40	6 à 40	6 à 40	6 à 40
Toron	6	6	6	6
Fils par toron	18	18	36	36
Fils extérieurs par toron	12	12	14	14
Coefficient de section métallique nominale C	0,357	0,414	0,393	0,455
Coefficient de charge de rupture K	0,307	0,332	0,329	0,355

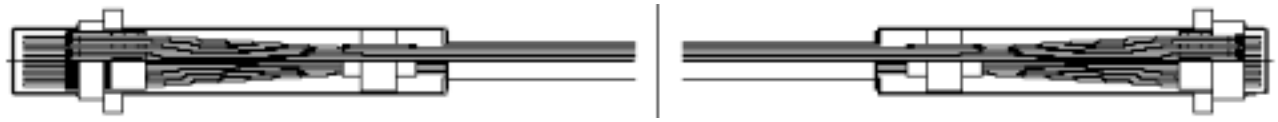
Câble clos			
			
Composition	1 couche de fils en Z	2 couches de fils en Z	≥3 couches de fils en Z
Diamètre d_s [mm]	20 à 40	25 à 50	40 à 180
Tolérance d	+5%	+5%	+5%
Coefficient de section métallique nominale C	0,636	0,660	0,700
Coefficient de charge de rupture K	0,585	0,607	0,643
NOTE Coefficient de section métallique nominale et coefficient de charge de rupture conformes à l'EN 12385-2			

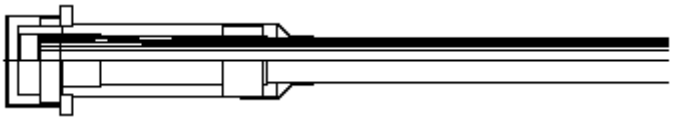
C.3 Connections d’extrémités de torons multicouches

Connexions d'extrémités de câbles métalliques - Culotage à l'aide de métal ou de résine conformément à l'EN 13411-4	
Culot à chape femelle	
Culot cylindrique	
Culot conique avec filetage intérieur et barre de traction	
Culot cylindrique avec filetage extérieur et écrou	
Culot cylindrique avec filetage intérieur et extérieur et écrou	
Culot cylindrique avec filetage intérieur et barre de tension	

Connexions des manchons sertis de torons multicouches	
Manchon serti à chape femelle	
Manchon serti à chape mâle	
Manchon serti fileté	
Boucle avec cosse sertie manchon filé en aluminium conformément à l'EN 13411-3	
Serre-câble à étrier en U conformément à l'EN 13411-5	

C.4 Produits du groupe C

Torons clairs, torons gainés de polyéthylène à revêtement époxydique	
Ancrage d'extrémité	Ancrage d'extrémité
Ancrage avec clavettes et culotage au coulis de ciment torons clairs, torons gainés de PE ou à revêtement époxydique	
Ancrage avec clavettes et presse étoupe ou dispositif d'étanchéïté – torons individuellement gainés de PE	
	
Ancrage avec clavettes et foureaux individuels pré-injectés au coulis de ciment – torons individuellement gainés de PE	
Ancrage avec clavette et tube de transition rempli de cire – torons individuellement gainés de PE	

Fils	
Ancrage d'extrémité	Ancrage d'extrémité
Ancrage avec fils et culottage avec un produit adhérent	
Ancrage avec fils boutonnés et culottage à la résine époxydique	
	

Barres	
Ancrage d’extrémité	Ancrage d’extrémité
Ancrage avec barre unique	
Ancrage avec plusieurs barres et gaine en acier, scellé au coulis de ciment	