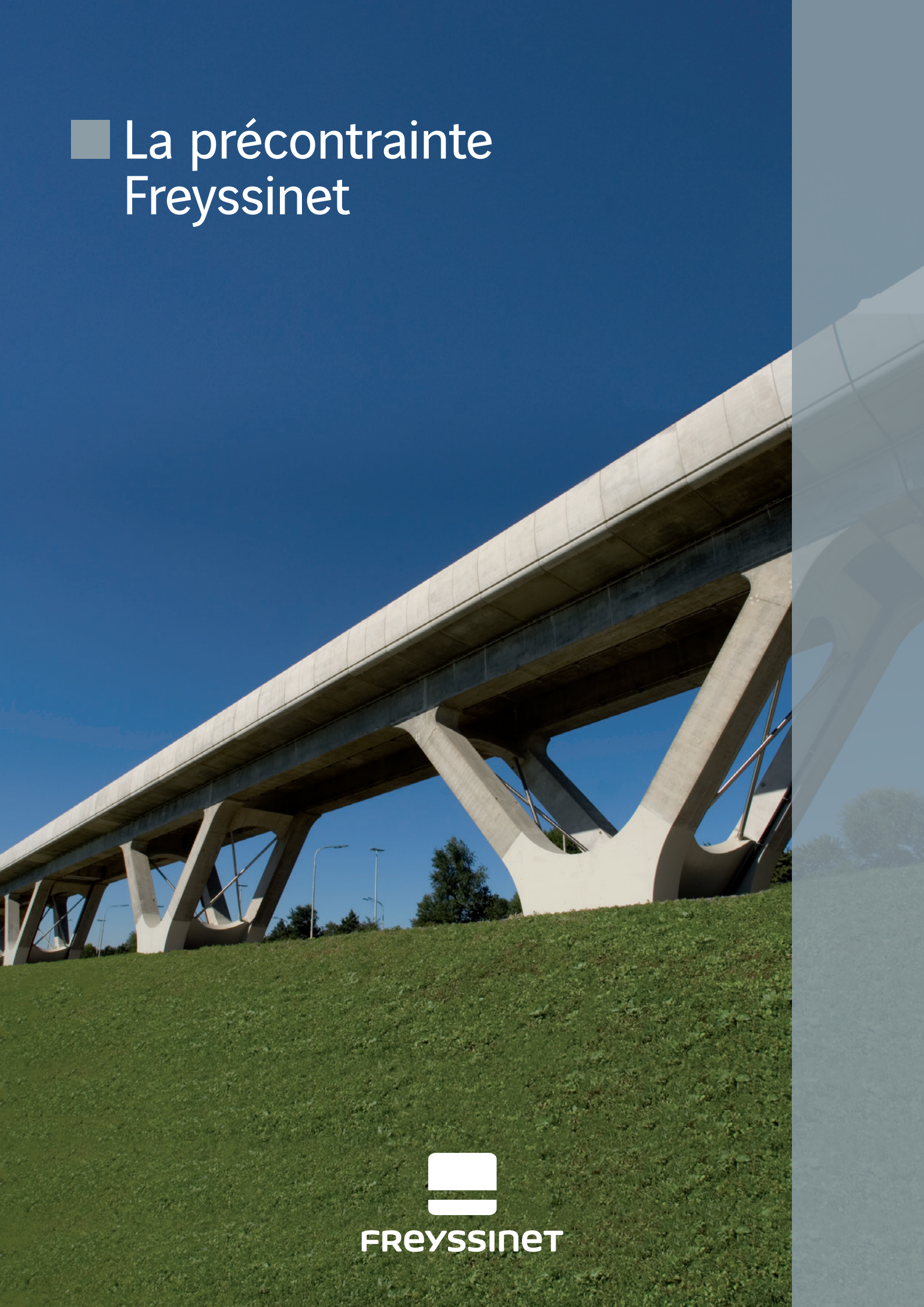
La précontrainte Freyssinet



FREYSSINET

CE

Sommaire

ATE et Marquage CE p 3

Précontrainte de forte puissance du modèle C **p 4 à 17**

- Ancrages p 7
- Catégories d'utilisation p 8
- Dispositions p 10
- Frettage p 11
- Coupleurs (CI,CU, CC, CM) p 14 à 16
- Ancrages noyés p 17

Ancrages du modèle F pour éléments minces **p 19 à 25**

- Précontrainte intérieure p 20
- Coupleurs p 22
- Dispositions p 23
- Frettages p 24
- Ancrages noyés p 25

Composants communs aux modèles C et F **p 26 à 29**

- Torons de précontrainte p 26
- Conduits de précontrainte p 27 à 28
- Produits d'injection p 29

Mise en œuvre **p 30 à 35**

- Mise en place et mise en tension (conduits, tromplaques, torons, ancrages) p 30
- Vérins pour ancrage du modèle C p 31
- Vérins pour ancrage du modèle F p 33
- Injection et cachetage p 34
- Évents et purges p 35

Une précontrainte à haute durabilité

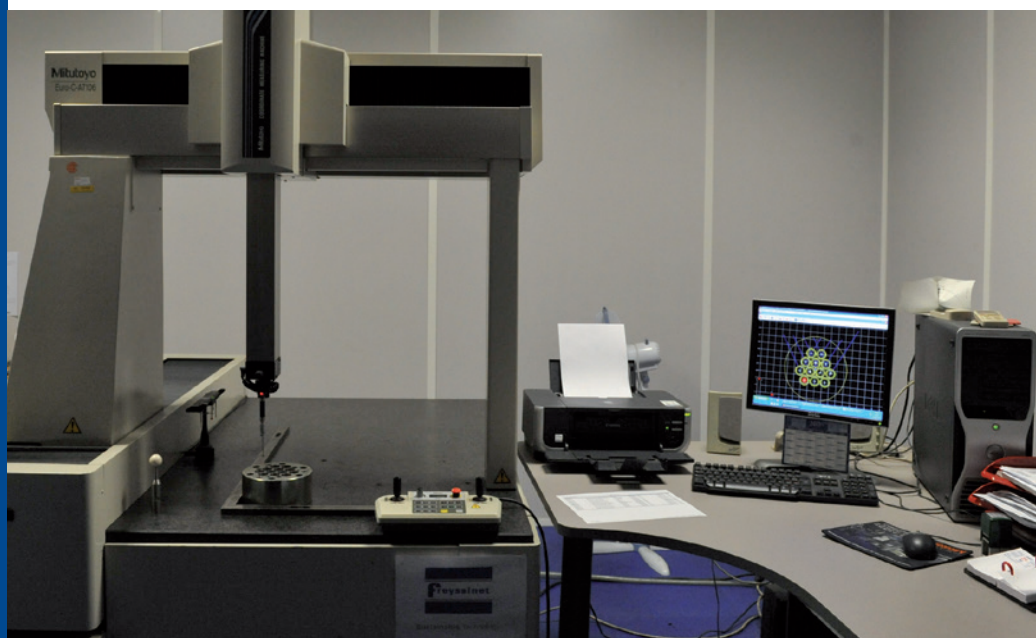
Précurseur de la précontrainte, Freyssinet n'a eu de cesse d'innover d'année en année, et offre aujourd'hui un système de précontrainte abouti alliant hautes performances et durabilité.

Les services techniques de Freyssinet assurent la conception des ancrages, des vérins et des équipements de mise en œuvre, et disposent également d'un centre d'essais (notamment un banc de traction de 2000 tonnes) et d'un laboratoire de formulation des coulis de précontrainte.

Pour garantir une prestation de qualité à tous ses clients dans le monde entier, Freyssinet fabrique ses ancrages dans sa filiale industrielle FPC (Freyssinet Product Company) et centralise les équipements de chantier au sein de son parc matériel.

En parallèle, Freyssinet forme ses équipes à la mise en œuvre de la précontrainte dans l'ensemble de ses filiales. La **PT Academy** est l'école de formation à la précontrainte de Freyssinet. Elle délivre chaque année à ses lauréats un diplôme certifiant la compétence des directeurs de travaux (DTP), des chargés de mise en œuvre (CMP) et des opérateurs (OP).

Les ancrages de précontrainte Freyssinet, modèles C et F, ont été éprouvés sur les ouvrages du monde entier dans le respect des exigences d'exécution les plus strictes : tabliers et piles de ponts, enceintes de réacteurs nucléaires, réservoirs de gaz naturel liquéfié, plateformes offshore, tours éoliennes, etc. Freyssinet a développé pour chaque application particulière une solution optimisée.



Agrément Technique Européen (ATE) et Marquage CE

Freyssinet est détenteur de l'Agrément Technique Européen (ATE) n° ETA 06/0226 pour le procédé de précontrainte comprenant les modèles d'ancrages :

- C pour des câbles de 3 à 55 torons,
- F pour des câbles de 1 à 4 torons.

En complément indispensable de cet agrément, Freyssinet a également obtenu la certification de conformité CE : certificat 1683-CPD-0004.
L'Agrément Technique Européen est délivré en particulier après réalisation des tests définis dans l'ETAG 013 (guide d'Agrément Technique Européen des kits de précontrainte de structures par post-tension). L'ATE et le marquage CE font l'objet d'un suivi continu par un organisme notifié.

Le kit de précontrainte comprend tous les éléments qui composent un câble complet.

SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE FREYSSINET - AGRÉMENT TECHNIQUE EUROPÉEN

Service d'études techniques des routes et autoroutes
46, avenue Aristide Briand
BP 100
92 225 BAGNEUX CEDEX
Tel : + 33 (0)1 46 11 31 31
Fax : + 33 (0)1 46 11 31 69

Authorised and notified according to Article 10 of the Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of Member States relating to construction products (89/106/EEC)

Sétra

MEMBRE DE L'EOTA
MEMBER OF EOTA

Agrément Technique Européen No. ETA-06/0226
(version originale en français)
European Technical Approval No. ETA-06/0226
(Original Version in French Language)

Nom commercial / Trade name:	Système Freyssinet
Détenteur de l'ATE / Holder of approval:	FREYSSINET 1 bis, rue du Petit Clamart F-78140 VELIZY
Type générique et utilisation prévue du produit de construction / Generic type and use of construction product:	Kit de précontrainte de structures par posttension Post-tensioning kit for prestressing of structures
Valid from: / to:	25.01.2007 24.01.2012
Producteur du procédé: / Kit manufacturer	PPC Z.A. du Monay-Saint Eusèbe F-71210 SAINT EUSEBE
Le présent agrément technique européen contient : / This European Technical Approval contains:	91 pages comprenant 40 pages d'annexes (dessins) faisant partie intégrante du document. 91 pages including 40 pages of annexes (drawings) which form an integral part of the document

EOTA Organisation pour l'Agrément Technique Européen
European Organisation for Technical Approvals

ASQPE

CERTIFICAT DE CONFORMITÉ
N° 1683 - CPD - 0004

CE

PROCÉDÉ DE PRÉCONTRAINTE PAR POST-TENSION

Certificat de conformité délivré par l'organisme certificateur : ASQPE
Numéro d'identification : 1683
Adresse : ASQPE 58 boulevard Lefebvre 75732 Paris Cedex 15

Détenteur de l'ATE : FREYSSINET
N° ATE : ETA - 06/0226 délivré par le SETRA le 25 janvier 2007

Producteur du procédé : PPC
Adresse : Z.A. du Monay-Saint-Eusèbe F – 71210 SAINT EUSÈBE

Produit certifié : Système Freyssinet

Dans le cadre de la Directive 89/106/CEE du Conseil des Communautés Européennes du 21 décembre 1988, relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats Membres concernant les produits de construction (Directive Produits de Construction – DPC), modifiée par la Directive 93/68/CEE du Conseil des Communautés Européennes du 22 juillet 1993, il a été établi que :

le système de précontrainte par post-tension Freyssinet
produit par PPC

a été soumis aux essais de type initiaux et que le producteur assure un contrôle de la production en usine.

L'organisme notifié ASQPE a réalisé l'inspection initiale de l'usine et a vérifié la mise en place du contrôle de la production en usine. Ce certificat atteste que toutes les dispositions concernant l'attestation de conformité du contrôle de la production en usine décrites dans l'ATE N° ETA-06/0226 sont appliquées et que le procédé satisfait les exigences prescrites.

Ce certificat est délivré pour la première fois le 1er octobre 2007 et, sauf retrait ou suspension, demeure valide tant que les conditions précisées dans la spécification technique de référence, les conditions de fabrication en usine ou le contrôle de la production en usine lui-même ne sont pas modifiés de manière significative et au plus tard jusqu'au 24 janvier 2012.

Délivré à Paris, le 01/10/2007

le Président de l'ASQPE

Jacky SEANTIER

page 10

ASQPE [Association Pour la Qualification de la Précontrainte et des Equipements des Ouvrages et de Génie Civil]
58, Boulevard Lefebvre - 75732 Paris cedex 15 - Tél: 33 (0)1 40 43 50 04 - Fax: 33 (0)1 40 43 65 22

ETAG 013 - "Agrément Technique Européen" et le "Certificat de Conformité CE" associé

Composants spécifiques

- Blocs d'ancrage passif et actif
- Coupleurs fixes et mobiles
- Mors
- Tromplaques
- Capots de protection
- Gaines plastiques

Composants standards

- Gaines et conduits métalliques
- Torons de précontrainte
- Matériaux de protection anti-corrosion

Pour des raisons pratiques, le frettage est généralement fourni par l'Entreprise Générale.

Le concepteur vérifiera que les dispositions adoptées pour son projet à partir des éléments issus de cette brochure respectent la réglementation locale en vigueur.

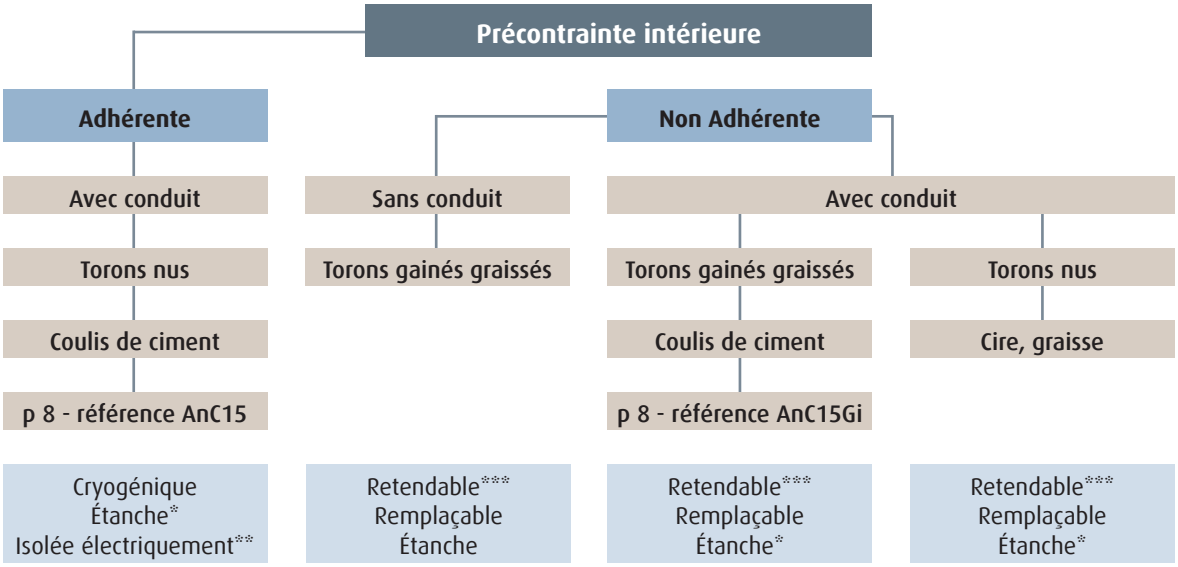
Viaduc de la Sioule, France

Précontrainte de forte puissance du modèle C

Catégories d'utilisation

Le système de précontrainte du modèle C est conçu et certifié pour une grande variété d'applications :
• emploi de torons T13 et T15 de toutes nuances (1770 ou 1860 MPa) y compris les torons galvanisés ou gainés graissés ;
• unités de précontrainte comprenant jusqu'à 55 torons.
Il est utilisable en précontrainte **intérieure ou extérieure** pour des structures en béton, acier, bois ou en maçonnerie :

- **adhérente ou non adhérente,**
- **avec ou sans conduit,**
- **avec possibilité de remise en tension,**
- **remplaçable,**
- **remplaçable, réglable,**
- **permettant la détension,**
- **avec isolation électrique,**
- **pour applications cryogéniques.**

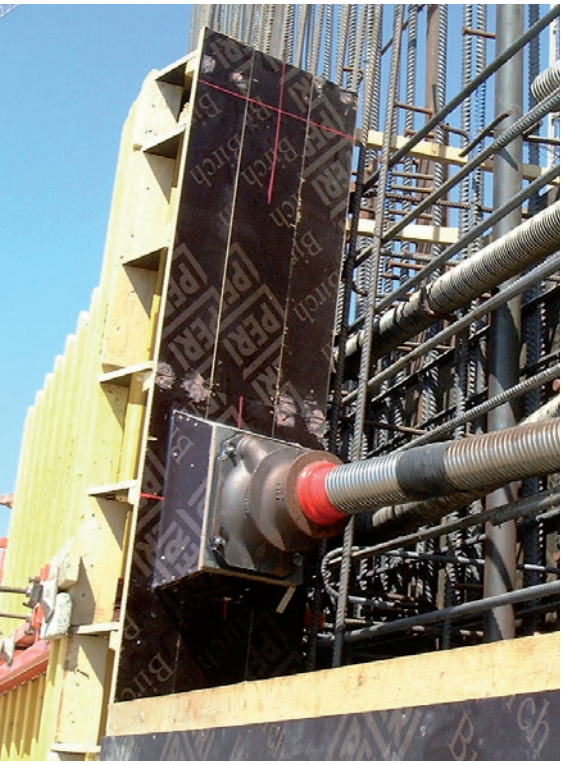


**moyennant une gaine étanche continue **moyennant des dispositions spéciales - page 9*
****moyennant la conservation des surlongueurs des torons*

Configurations de précontrainte intérieure adhérente

L'utilisation la plus courante du modèle C en précontrainte intérieure adhérente est basée sur l'emploi de torons clairs lubrifiés dans une gaine nervurée en feuillard métallique, galvanisée ou non, cintrable à la main et injectée après mise en tension des torons d'un coulis de ciment. Dans les parties courbes et afin de réduire le coefficient de frottement des torons sur la gaine, Freyssinet propose une lubrification en usine du feuillard selon un procédé unique à Freyssinet appelé : LFC.

Afin d'accroître la durabilité de la précontrainte ou pour des applications dans des environnements très agressifs vis à vis de la corrosion des aciers de précontrainte, la gaine en feuillard métallique peut être avantageusement remplacée par une gaine en plastique étanche (ainsi que ses connexions entre éléments). Freyssinet a développé la gaine de précontrainte Plyduct®, une gaine en PEhd



avec un profil nervuré qui assure l'adhérence du câble à la structure. L'épaisseur de la gaine est sélectionnée en fonction des pressions latérales exercées dans les parties courbes et des courses de défilement des torons lors de la mise en tension.

Pour les ouvrages en site marin, Freyssinet propose également un conduit métallique étanche constitué de tubes lisses de forte épaisseur avec des joints robustes réalisés par recouvrement et colmatés à la résine par un manchon thermo-rétractable.

Pour les ouvrages constitués d'éléments préfabriqués à joints conjugués, Freyssinet a mis au point le coupleur de gaine Liaseal®. Ce coupleur en plastique assure l'étanchéité contre la pénétration des eaux d'infiltration entre les joints de voussoirs.

À chaque configuration correspond un mode de protection des têtes d'ancrage approprié : il peut être réalisé par cachetage (bétonnage de la tête d'ancrage dans une niche), par un capot permanent en fonte (galvanisé ou peint) ou en plastique, injecté du même produit de protection que celui employé dans la partie courante du câble.

Pour protéger les câbles des courants vagabonds ou pour réaliser le contrôle électrique de l'étanchéité des gaines en plastique, Freyssinet offre un système de précontrainte isolée électriquement basé sur l'emploi d'une plaque isolante sous la tête d'ancrage et l'emploi d'une gaine et d'un capot en plastique afin de réaliser une enveloppe continue et étanche tout autour des torons.

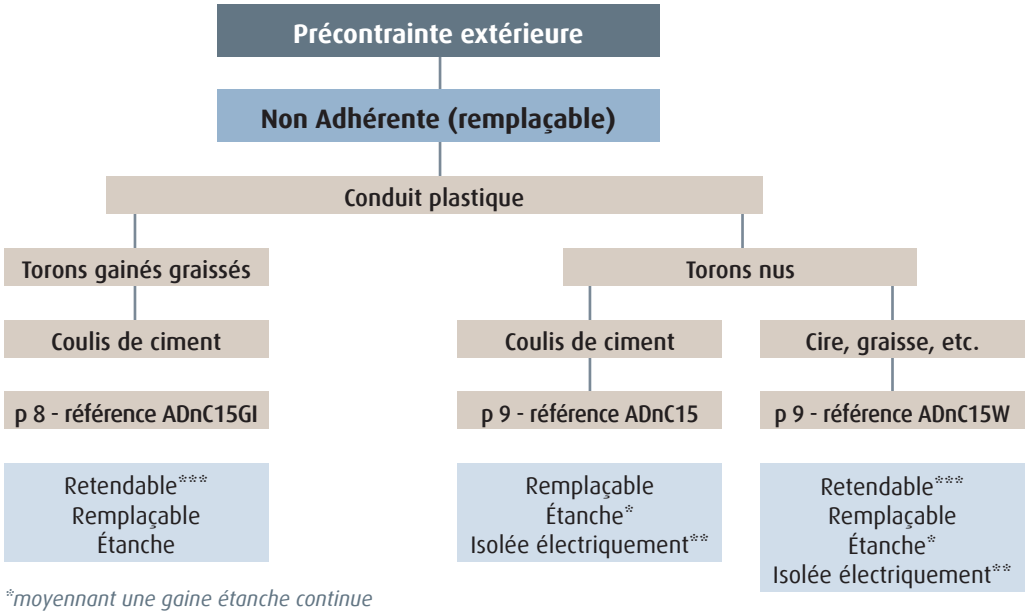
Configurations de précontrainte intérieure non adhérente

Les câbles de précontrainte non adhérente sont principalement utilisés dans des applications exigeant de pouvoir mesurer la tension du câble, de le retendre le cas échéant ou de le détendre et de le remplacer.

Il est possible pour obtenir une précontrainte non adhérente de simplement utiliser un produit de protection anti-corrosion souple en substitution du coulis de ciment, en général de la graisse ou de la cire spécialement prévues à cet effet. Une attention particulière sera alors portée à l'étanchéité des conduits.

Afin d'accroître la durabilité de la précontrainte en disposant de plusieurs barrières de protection contre la corrosion ou pour permettre par exemple le remplacement individuel des torons, Freyssinet préconise l'utilisation de torons protégés à la graisse, revêtus d'une gaine individuelle en PEhd. Ces armatures peuvent être placées dans un conduit injecté au coulis de ciment avant la mise en tension du câble ou bien directement incorporées dans le ferraillage avant bétonnage.

Pont Pierre Pflimlin, Strasbourg - France



**moyennant une gaine étanche continue*
***moyennant des dispositions spéciales - page 9*
****moyennant la conservation des surlongueurs des torons*

Configurations de précontrainte extérieure

La précontrainte extérieure est bien adaptée aux éléments en béton d'épaisseur réduite et permet également une inspection aisée des câbles dans leur partie courante.

L'utilisation la plus courante du modèle C en précontrainte extérieure est basée sur l'emploi de torons placés dans des tronçons de tubes en PEhd épais, assemblés par soudure miroir, qui sont injectés après mise en tension du câble au coulis de ciment.

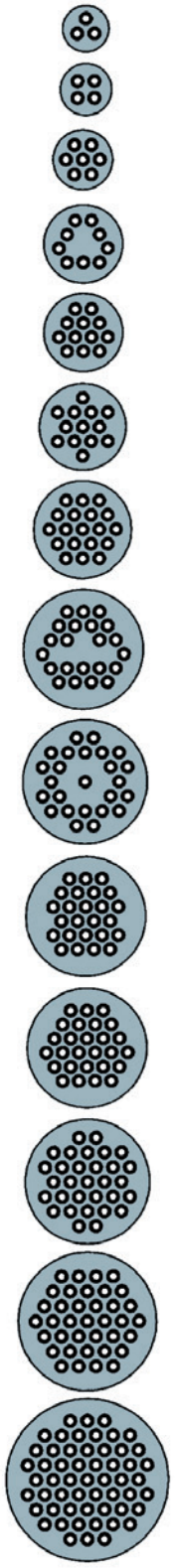
Afin de permettre de démonter le câble sans endommagement de l'ouvrage, les conduits sont réalisés par double tubage au niveau des traversées dans le béton, c'est-à-dire aux déviateurs et aux entretoises d'ancrage. Le tube PEhd passe à l'intérieur d'un tube coffrant rigide en métal qui permet de désolidariser le câble de la structure et de répartir les efforts transversaux induits par la déviation locale.

Pour réaliser des câbles dont les torons sont indépendants les uns des autres, Freyssinet recommande d'utiliser des torons protégés à la graisse, revêtus d'une gaine individuelle en PEhd placés dans un conduit injecté au coulis de ciment avant mise en tension du câble. Cette disposition à l'avantage d'accroître la durabilité de la précontrainte en disposant de plusieurs barrières de protection contre la corrosion et de permettre par exemple le remplacement individuel des torons.

Une autre solution consiste à injecter le câble d'un produit de protection anti-corrosion souple, une graisse ou une cire spécialement prévues à cet effet. Une attention particulière doit être portée à l'injection à chaud de ces produits.

Ancrage du modèle C

Unité d'ancrages



3C15*
4C15*
7C15
9C15
12C15*
13C15
19C15
22C15*
25C15
25CC15*
27C15*
31C15
37C15
55C15

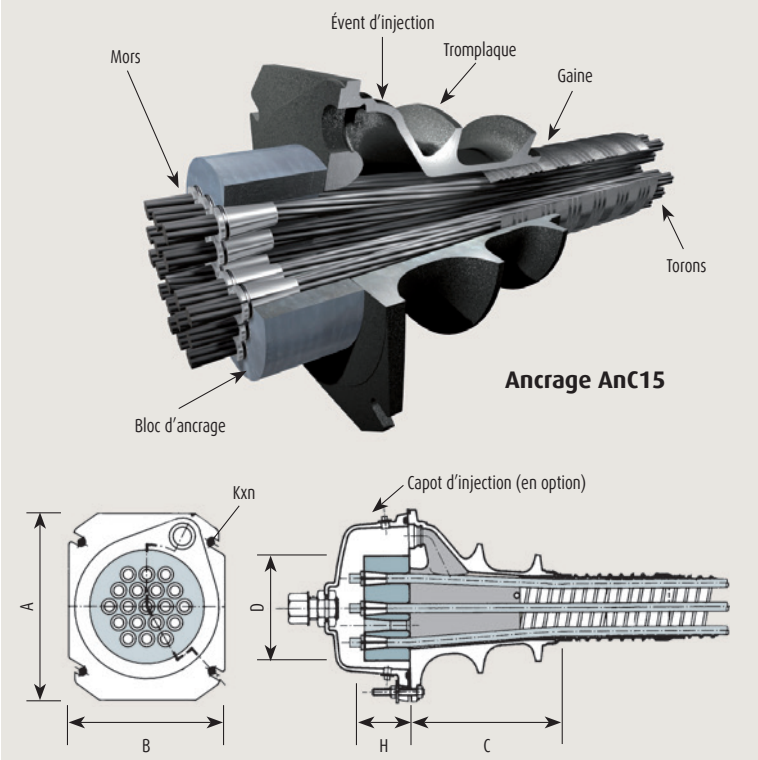
** Configuration des torons dans l'ancrage sans toron central.*

Composition

Les ancrages sont composés de :
- mors garantissant un ancrage performant sous sollicitations statiques ou dynamiques ;
- blocs d'ancrage circulaires en acier percés de trous tronconiques ;
- tromplaques en fonte à plusieurs étages pour une meilleure diffusion de l'effort de précontrainte dans le béton ;
- un capot permanent en option.

Ancrages compacts

Les dimensions réduites des ancrages du modèle C permettent :
- une diminution de l'épaisseur des poutres et des âmes des caissons ;
- une meilleure concentration des ancrages aux abouts ;
- une déviation minimale des torons.



Unités	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Kxn (mm)
3C15	150	110	120	85	50	M10x2
4C15	150	120	125	95	50	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	M16x4
25CC15	350	290	360	220	95	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	M20x4

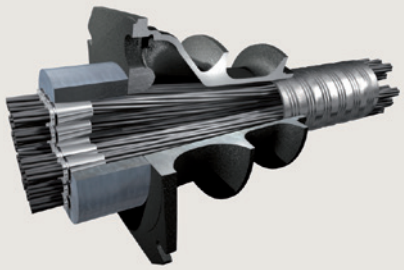
Toutes les unités sont marquées CE

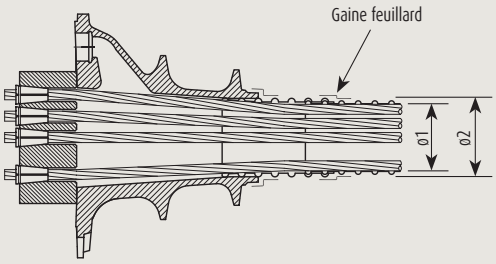
Ancrage du modèle C (suite)

Catégories d'utilisation

Pour précontrainte **intérieure** adhérente en torons nus avec injection au coulis de ciment

AnC15

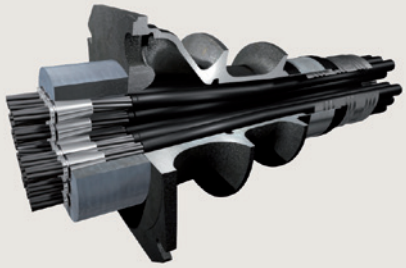


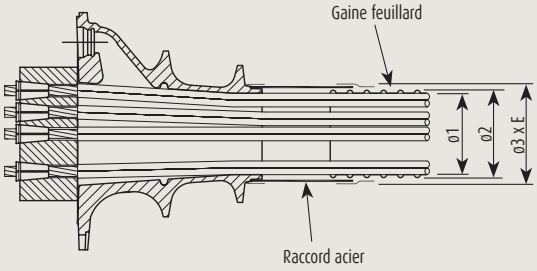


Unités	Ø1* (mm)	Ø2** (mm)
3C15	40	45
4C15	45	50
7C15	60	65
9C15	65	70
12C15	80	85
13C15	80	85
19C15	95	100
22C15	105	110
25C15	110	115
25CC15	110	115
27C15	115	120
31C15	120	125
37C15	130	135
55C15	160	165

Pour précontrainte **intérieure** non adhérente en torons gainés graissés avec injection au coulis de ciment

AnC15GI

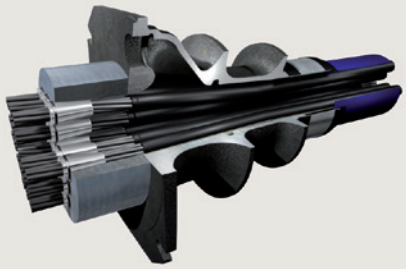


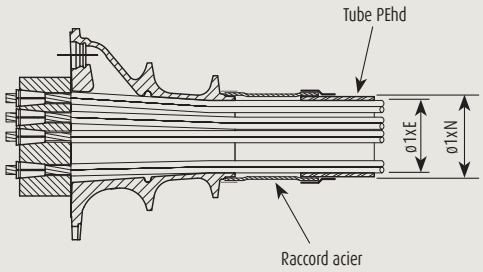


Unités	Ø1* (mm)	Ø2** (mm)	Ø3 (mm)	E (mm)
3C15	40	45	70	2,9
4C15	65	70	82,5	3,2
7C15	65	70	82,5	3,2
9C15	80	85	101,6	5
12C15	95	100	114,3	3,6
13C15	95	100	114,3	3,6
19C15	115	120	133	4
22C15	120	125	139,7	4
25C15	130	135	152,4	4,5
25CC15	130	135	152,4	4,5
27C15	130	135	152,4	4,5
31C15	145	150	177,8	5
37C15	145	150	177,8	5

Pour précontrainte **extérieure** non adhérente en torons gainés graissés avec injection au coulis de ciment

ADnC15GI



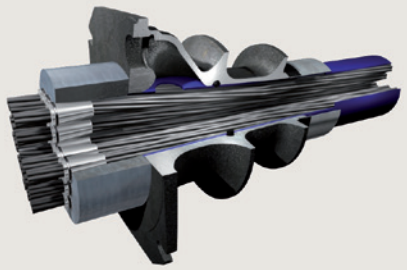


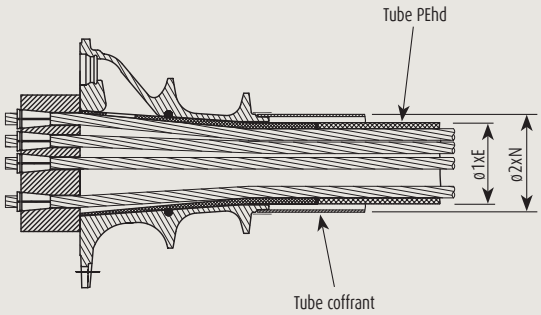
Unités	Ø1* (mm)	E (mm)	Ø2** (mm)	N (mm)
3C15	70	2,9	63	4,7
4C15	82,5	3,2	75	5,5
7C15	82,5	3,2	90	6,6
9C15	101,6	5	90	6,6
12C15	114,3	3,6	110	5,3
13C15	114,3	3,6	110	5,3
19C15	133	4	125	6
22C15	139,7	4	125	6
25C15	152,4	4,5	140	6,7
25CC15	152,4	4,5	140	6,7
27C15	152,4	4,5	140	6,7
31C15	177,8	5	160	7,7
37C15	177,8	5	160	7,7
55C15	219,1	6,3	200	9,6

** Vérifier l'épaisseur de gaine en fonction du réglement applicable.*
*** Ø : diamètre intérieur pour gaines nervurées/extérieur pour conduits en polyéthylène ou en acier. * et ** dimensions minimales recommandées.*

Pour précontrainte **extérieure** non adhérente en torons nus avec injection au coulis de ciment

ADnC15

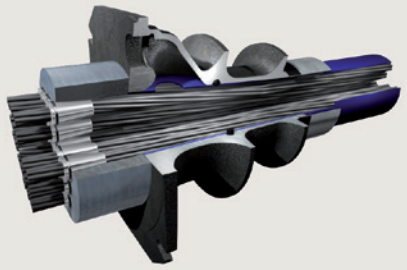


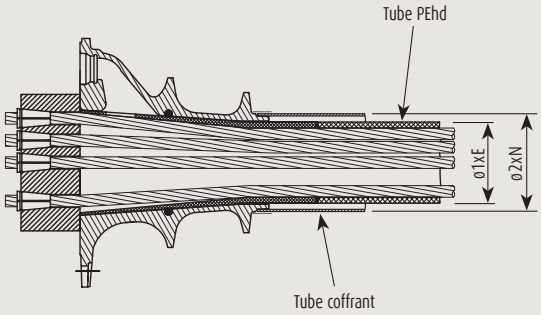


Unités	Ø1* (mm)	E (mm)	Ø2** (mm)	N (mm)
3C15	50	3,7	70	2,9
4C15	63	4,7	82,5	3,2
7C15	63	4,7	82,5	3,2
9C15	75	5,5	101,6	5
12C15	90	6,6	114,3	3,6
13C15	90	6,6	114,3	3,6
19C15	110	5,3	133	4
22C15	110	5,3	139,7	4
25C15	125	6	152,4	4,5
25CC15	125	6	152,4	4,5
27C15	125	6	152,4	4,5
31C15	140	6,7	177,8	5
37C15	140	6,7	177,8	5

Pour précontrainte **extérieure** non adhérente en torons nus avec injection au produit souple

ADnC15W

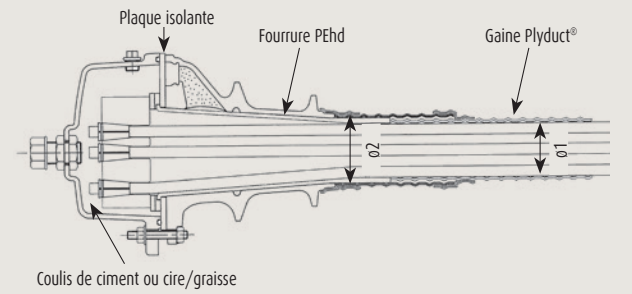




Unités	Ø1* (mm)	E (mm)	Ø2** (mm)	N (mm)
3C15	50	3,7	70	2,9
4C15	63	4,7	82,5	3,2
7C15	63	4,7	82,5	3,2
9C15	75	5,5	101,6	5
12C15	90	6,6	114,3	3,6
13C15	90	6,6	114,3	3,6
19C15	110	8,1	133	4
22C15	110	8,1	139,7	4
25C15	125	9,2	152,4	4,5
25CC15	125	9,2	152,4	4,5
27C15	125	9,2	152,4	4,5
31C15	140	10,3	177,8	5
37C15	140	10,3	177,8	5

Pour précontrainte avec isolation électrique

Les câbles munis d'ancrages du modèle C peuvent être enveloppés d'un gainage continu non conducteur, de façon à obtenir un système de précontrainte isolé électriquement. Les applications typiques sont des ouvrages ferroviaires dans lesquels des courants vagabonds peuvent compromettre la durabilité des câbles.



Unités	Ø1* (mm)	Ø2** (mm)
3C15	40	45
4C15	45	50
7C15	60	65
9C15	65	70
12C15	80	85
13C15	80	85
19C15	95	100
22C15	105	110
25C15	110	115
25CC15	110	115
27C15	115	120
31C15	120	125
37C15	130	135
55C15	160	165

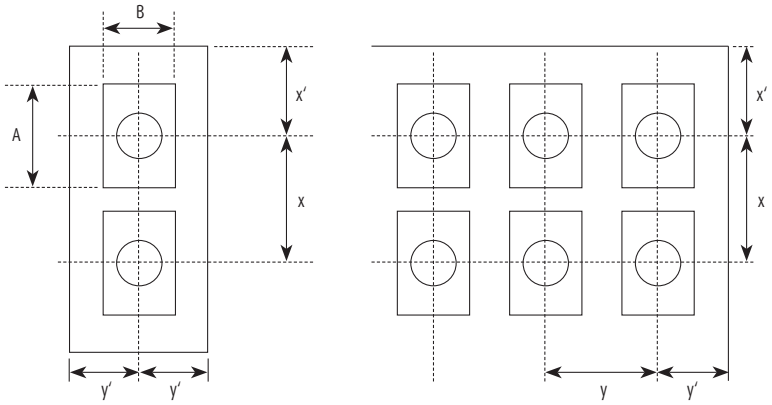
** Vérifier l'épaisseur de gaine en fonction du réglement applicable.*
*** Ø : diamètre intérieur pour gaines nervurées/extérieur pour conduits en polyéthylène ou en acier. * et ** dimensions minimales recommandées.*

Dispositions des ancrages du modèle C

Les ancrages doivent être disposés à une distance suffisante de la paroi et être séparés entre eux d'une valeur d'entraxe minimum. Ces distances sont obtenues à partir des dimensions a et b des montages d'essais réalisés dans le cadre de la procédure de l'Agrément Technique Européen.
On considère dans ce qui suit que les ancrages sont disposés selon deux directions normales : x et y, avec le petit côté de la tromplaque orienté selon l'axe y.

Notation

- A, B : dimensions en plan de la tromplaque (A ≥ B).
- a , b : dimensions du prisme d'essai (a ≥ b).
- x, y : l'entraxe des ancrages dans les directions x et y.
- x' y' : la distance de l'ancrage au parement le plus proche dans les directions x et y.
- $f_{cm,o}$: la résistance moyenne du béton à la compression mesurée sur cylindre avant la mise en tension.



Les dimensions x et y doivent satisfaire les conditions suivantes :

$x \geq A + 30$ (mm)
$y \geq B + 30$ (mm)
$x \cdot y \geq a \cdot b$
$x \geq 0{,}85\ a$
$y \geq 0{,}85\ b$
$x' \geq 0{,}5\ x$ + enrobage de béton — 10 (mm)
$y' \geq 0{,}5\ y$ + enrobage de béton — 10 (mm)

Distances a et b

	a = b (mm)		
	$f_{cm,o}$ (MPa)		
Unités	**24**	**44**	**60**
3C15	220	200	180
4C15	250	220	200
7C15	330	260	240
9C15	380	300	280
12C15	430	320	300
13C15	450	340	310
19C15	530	400	380
22C15	590	430	410
25C15	630	460	440
27C15	650	480	470
31C15	690	520	500
37C15	750	580	540
55C15	1070	750	690

Les valeurs a et b sont données dans les tableaux ci-contre, pour trois différentes classes de résistances du béton $f_{cm,o}$.

Si le projet prévoit pour $f_{cm,o}$ une valeur différente des valeurs indiquées dans le tableau, on peut procéder par interpolation linéaire pour déterminer les valeurs x et y. Toutefois, on ne peut tendre à pleine force lorsque $f_{cm,o}$ est inférieure à la plus faible des valeurs indiquées dans les tableaux ci-contre.

Si le projet prévoit une mise en tension partielle ou un taux de mise en tension inférieur à min [0,8 F_{pk} ; 0,9 $F_{p0,1\%}$], on peut procéder par interpolation pour déterminer la valeur de $f_{cm,o}$ requise, en considérant qu'à 50% de la pleine force, la résistance requise pour le béton peut être amenée au 2/3 des valeurs indiquées dans les deux tableaux précédents et qu'à 30% de cette force, la résistance requise pour le béton peut être ramenée à la moitié des mêmes valeurs indiquées.

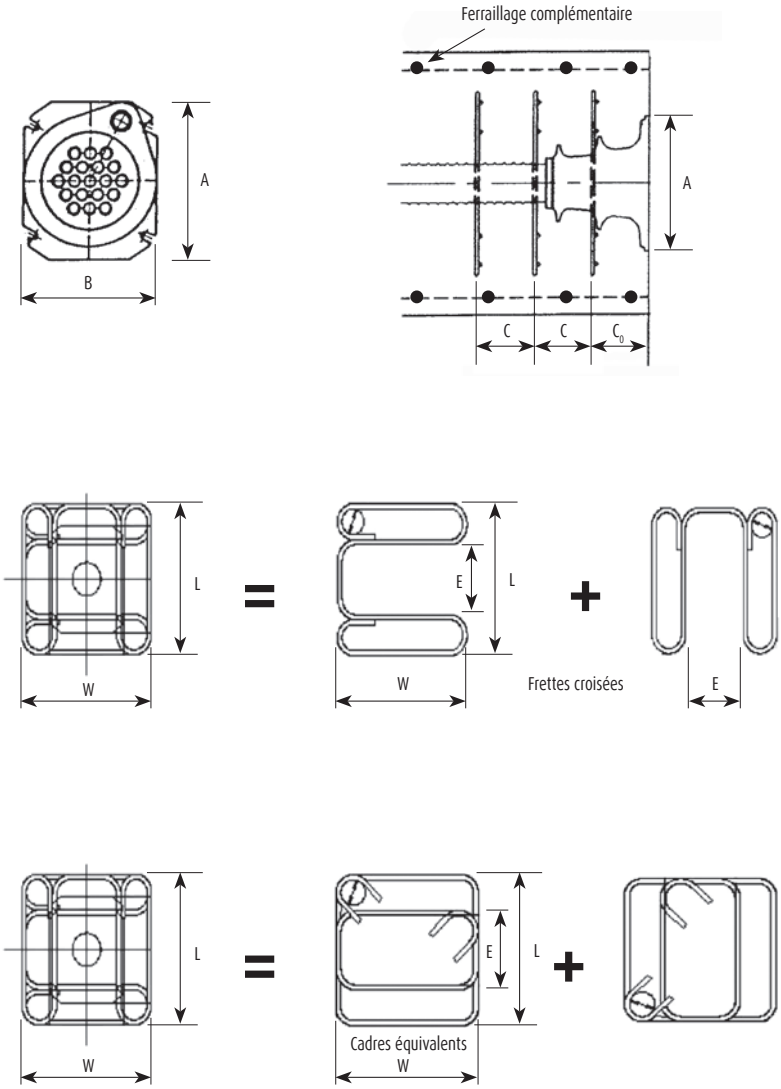
Frettage des ancrages du modèle C

Les forces concentrées appliquées par les unités précontraintes imposent la mise en place d'un frettage au voisinage des ancrages dans le cas des structures en béton. Ce ferraillage local comprend un frettage d'éclatement et des aciers complémentaires. Pour tenir compte des dispositions constructives habituelles dans certains pays, le frettage d'éclatement a été défini comme étant assuré soit par des frettes croisées soit par un frettage hélicoïdal.

Les frettes indiquées dans les tableaux ci-après sont déduites des armatures employées dans les prismes d'essai et pour une résistance sur cylindre du béton égale à 24 ou 44 MPa. Pour une résistance du béton égale à 60 MPa, on se référera à l'Agrément Technique Européen du système Freyssinet. Pour les résistances autres, on pourra interpoler les valeurs issues des tableaux.

1/ Les frettes croisées (ou cadres)

Les schémas ci-après définissent la disposition générale du frettage d'éclatement dans le cas d'emploi de frettes croisées. À chaque lit sont disposées deux frettes croisées. Pour des raisons pratiques, chaque frette peut être remplacée par deux cadres de section résistante équivalente comme le montre le schéma suivant.



Frettages des ancrage du modèle C (suite)

Dans le cas d'ancrages sur plusieurs files, généralement les dimensions W et L sont égales à une même valeur Lo indiquée dans les tableaux ci-après. Dans le cas d'ancrages sur une file, W est réduit et L augmenté mais en respectant toujours la valeur minimum de E indiquée dans les tableaux ci-après.
Les caractéristiques du frettage d'éclatement varient en fonction de la résistance moyenne en compression du béton à la mise en tension : fcm,0 (mesurée sur cylindre). Elles sont décrites dans les tableaux suivants pour deux valeurs de résistance.

Unités	Frettes croisées ou cadres équivalents (FeE 235)							(B500) Aciers complémentaires (cadres)		
	Nombre de couches	Co (mm)	C (mm)	Diamètre d (mm)	Mandrin diamètre D (mm)	min Centre distance E (mm)	Dim. hors tout LO (mm)	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre
3C15	3	100	75	8	31	90	200	110	8	3
4C15	3	100	75	8	46	90	230	115	12	3
7C15	3	120	90	12	74	130	310	120	12	4
9C15	3	120	110	12	74	140	360	125	14	4
12C15	3	120	120	14	83	160	410	140	16	4
13C15	3	140	125	14	88	170	430	130	16	4
19C15	3	160	125	16	117	200	520	180	20	4
22C15	3	170	140	20	118	215	570	130	16	6
25C15	3	200	160	20	135	220	610	175	20	5
27C15	3	175	170	20	130	250	630	130	20	6
31C15	3	210	150	20	130	255	670	140	20	6
37C15	4	250	225	20	130	270	740	130	25	5
55C15	5	290	200	25	160	340	1050	200	20	6

fcm,0 = 24 MPa

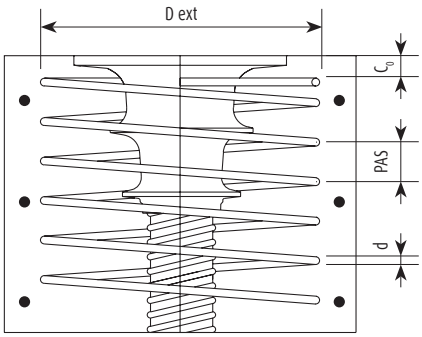
Unités	Frettes croisées ou cadres équivalents (FeE 235)								(B500) Aciers complémentaires (cadres)		
	Nombre de couches	Co (mm)	C (mm)	Type	Diamètre d (mm)	Mandrin diamètre D (mm)	min Centre distance E (mm)	Longueur totale LO (mm)	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre
3C15	3	100	75	FC	8	26	90	190	150	8	2
4C15	3	100	75	FC	8	31	90	200	250	8	3
7C15	3	120	90	FC	12	39	130	240	140	10	4
9C15	3	120	110	FC	12	39	140	290	150	14	3
12C15	3	120	120	C	14	84	160	300	240	14	3
13C15	3	140	125	C	14	84	170	330	120	14	4
19C15	3	160	125	C	16	96	200	380	200	16	3
22C15	3	170	140	C	20	120	215	410	160	14	4
25C15	3	200	160	C	20	120	220	440	165	16	3
27C15	3	175	170	C	20	120	250	460	165	16	3
31C15	3	210	190	C	20	120	255	500	210	20	3
37C15	4	250	225	C	20	120	270	600	210	20	4
55C15	4	290	255	C	25	150	340	730	200	20	4

fcm,0 = 44 MPa

FC : frettes croisées ou cadres équivalents
C : cadres uniquement

2/ Les spires hélicoïdales

Le schéma ci-contre définit la disposition générale du frettage d'éclatement dans le cas de l'emploi d'une spire hélicoïdale. Cette disposition se prête surtout au cas des ancrages isolés.



Frettage et ferraillage complémentaire

Unités	Frettage hélicoïdal (FeE 235)					(B500) Aciers complémentaires (cadres)		
	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre	Co (mm)	Diamètre extérieur D (mm)	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre
3C15	50	8	5	40	160	110	8	3
4C15	60	10	5	40	190	115	10	3
7C15	60	14	6	40	270	120	10	4
9C15	70	14	6	40	320	125	12	4
12C15	70	14	7	40	370	140	16	4
13C15	70	14	7	40	390	130	16	4
19C15	60	16	8	40	470	180	20	4
22C15	70	16	8	40	510	130	20	5
25C15	80	20	7	40	550	150	20	5
27C15	80	20	7	40	570	160	20	5
31C15	80	20	7	40	600	140	20	6
37C15	90	20	7	40	660	130	25	5
55C15	100	25	9	40	930	200	20	6

fcm,0 = 24 MPa

Pont du Corgo, Portugal

Unités	Frettage hélicoïdal (FeE 235)					(B500) Aciers complémentaires (cadres)		
	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre	Co (mm)	Diamètre extérieur D (mm)	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre
3C15	50	8	5	40	150	150	8	2
4C15	60	10	5	40	160	250	8	3
7C15	60	12	6	40	200	140	10	4
9C15	70	14	6	40	250	150	12	3
12C15	50	14	7	40	260	240	14	3
13C15	70	14	7	40	290	120	14	4
19C15	60	16	8	40	320	200	16	3
22C15	70	16	8	40	350	160	14	4
25C15	80	20	7	40	380	165	16	3
27C15	80	20	7	40	400	165	16	3
31C15	80	20	8	40	420	210	16	3
37C15	90	20	9	40	520	210	20	4
55C15	100	25	10	40	650	250	20	3

fcm,0 = 44 MPa

3/Le ferraillage complémentaire

Le frettage d'éclatement doit être complété dans la zone d'ancrage par le ferraillage complémentaire utilisé dans les prismes d'essai de transfert, sous forme de cadres conformément aux tableaux ci-dessus ou par des barres de même section correctement ancrées.

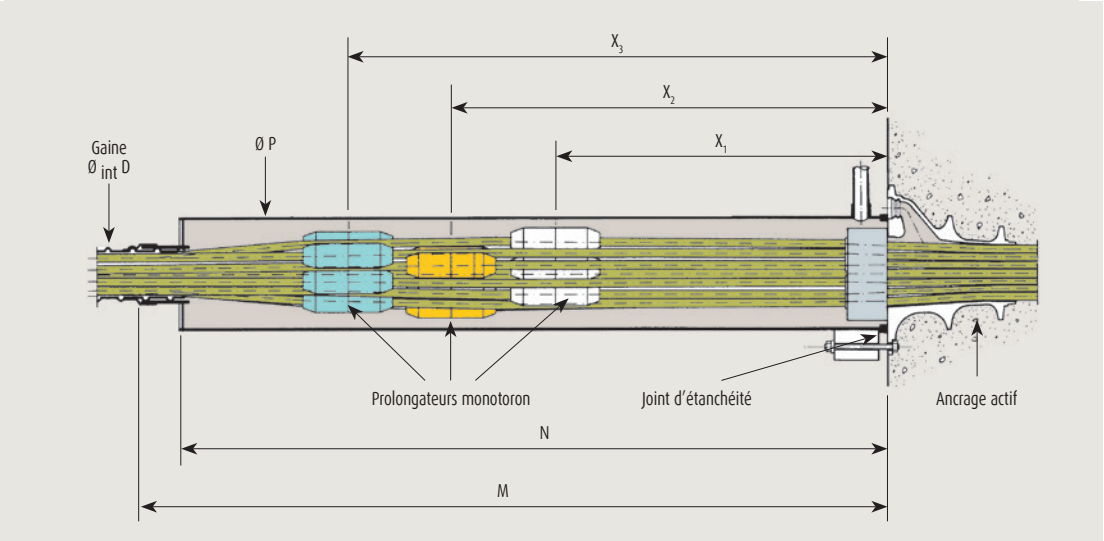
Le ferraillage indiqué dans les tableaux ci-dessus doit être le plus souvent complété par des armatures générales, non montrées sur les dessins, correspondant au minimum requis contre la fissuration et aux armatures d'équilibre général. L'auteur du projet doit vérifier l'équilibre général des zones d'ancrage.

Coupleurs fixes CI monotoron

Les coupleurs sont nécessaires lorsqu'une structure continue est construite par phases successives avec prolongation des câbles déjà mis en place, tendus et injectés dans le tronçon précédent. Ils sont utilisés généralement en précontrainte intérieure.

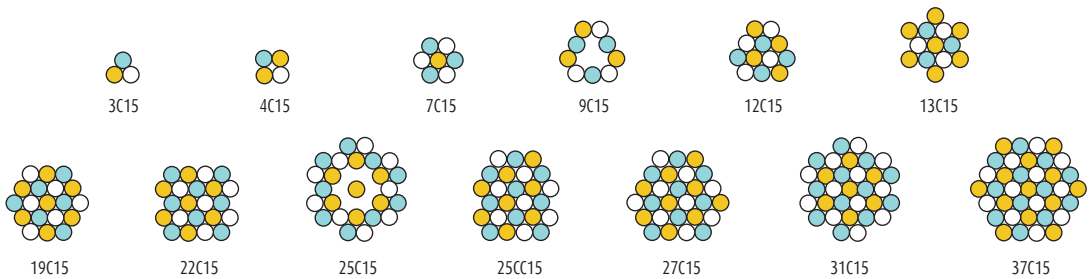
Coupleurs fixes CI monotoron

Les coupleurs fixes CI permettent le raccordement du câble secondaire au câble primaire en utilisant des prologateurs monotoron, usinés ou moulés, avec blocage automatique par ressort interposé entre les deux mors en opposition. L'ancrage primaire est un ancrage du modèle C. Les prolongateurs monotoron disposés sur trois niveaux offrent une configuration très compacte.



Unités	D (mm)	M (mm)	N (mm)	P (mm)	X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)
CI 3C15	40	1050	1000	102	250	500	750
CI 4C15	45	1050	1000	127	250	500	750
CI 7C15	60	1050	1000	127	250	500	750
CI 9C15	65	1100	1050	178	300	500	800
CI 12C15	80	1150	1100	194	300	550	800
CI 13C15	80	1200	1150	219	300	550	800
CI 19C15	95	1200	1150	219	300	550	800
CI 22C15	105	1250	1200	273	350	600	800
CI 25C15	110	1250	1200	273	350	600	850
CI 25CC15	110	1300	1250	273	350	600	850
CI 27C15	115	1300	1250	273	350	600	850
CI 31C15	120	1350	1300	273	400	650	900
CI 37C15	130	1530	1480	324	400	650	900

Toutes les unités sont marquées CE



Coupleurs fixes CU et CC multitorons

Unités	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G (mm)	ØD (mm)	E (mm)	L (mm)	H (mm)	ØP (mm)
CU 3C15	150	110	120	40	140	120	150	150	150
CU 4C15	150	120	125	45	150	127	150	150	150
CU 7C15	180	150	186	60	200	120	180	180	180
CU 9C15	225	185	260	65	255	122	225	225	225
CU 12C15	240	200	165	80	265	130	240	240	240
CU 13C15	250	210	246	80	276	130	250	250	250
CU 19C15	300	250	256	95	306	140	300	300	300
CU 22C15	330	275	430	105	335	145	330	330	330
CU 25C15	360	300	400	110	346	145	360	360	360
CU 25CC15	350	290	360	110	354	150	350	350	350
CU 27C15	350	290	360	115	354	150	350	350	350
CU 31C15	385	320	346	120	356	150	385	385	385
CU 37C15	420	350	466	130	386	156	420	420	420

Toutes les unités sont marquées CE

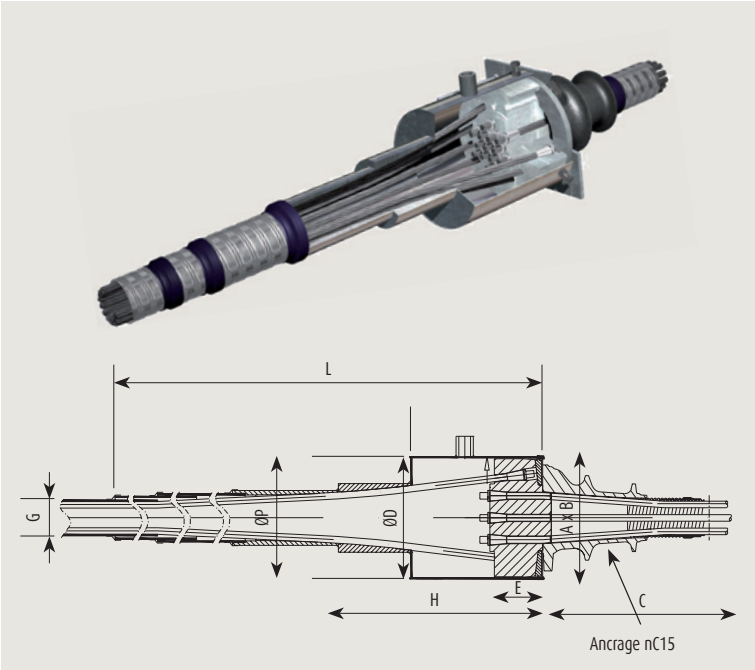
Unités	E (mm)	L (mm)	M x N* (mm)	ØP (mm)	ØG (mm)
CC 3C15**	10	570	220 x 220	210	40
CC 4C15**	10	600	240 x 240	220	45
CC 7C15**	10	670	260 x 260	230	60
CC 9C15**	10	750	290 x 290	270	65
CC 12C15**	10	725	300 x 300	280	80
CC 13C15	10	770	290 x 290	275	80
CC 19C15	12	825	320 x 320	305	95
CC 22C15**	10	885	390 x 390	365	110
CC 25C15	5	900	360 x 360	340	110
CC 27C15**	10	955	390 x 390	365	110
CC 31C15	5	1 110	420 x 420	400	120

**Dimensions de la plaque de maintien.*
*** Disponibles sur demande.*

2 types de coupleurs multitorons sont possibles :

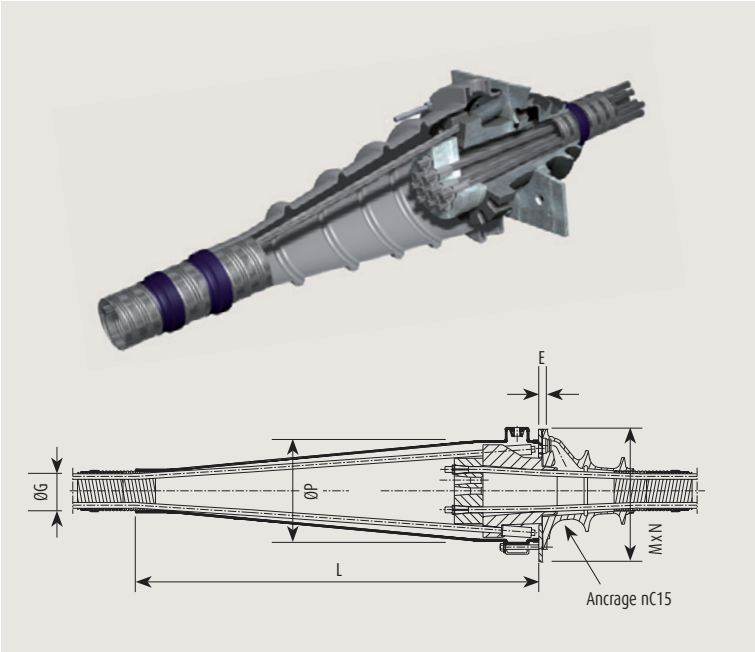
Coupleurs type CU

Pour ces coupleurs le bloc d'ancrage du câble primaire est aménagé pour recevoir les mors d'ancrage du câble secondaire.
Cet ensemble est protégé par un capot dont l'une des extrémités est pourvue d'une trompette pour assurer le raccordemement avec le conduit du câble secondaire.



Coupleurs type CC

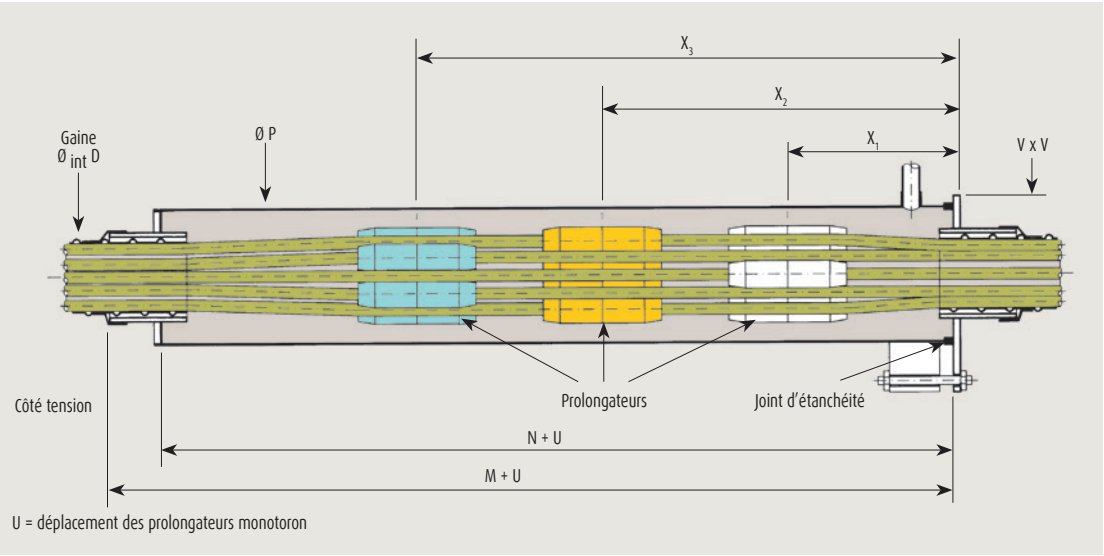
Pour ces coupleurs, une couronne crénelée est interposée entre la tromplaque et le bloc d'ancrage du câble primaire. Le câble secondaire est ancré au moyen de manchons filés sur cette couronne.



Coupleurs mobiles CM monotoron

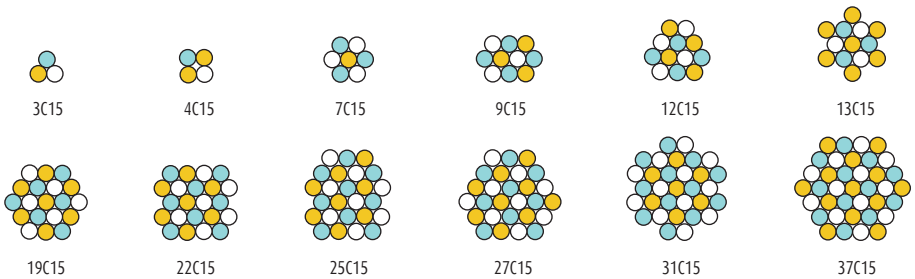
Couplage de câbles non tendus

Ces dispositifs de raccordement permettent le couplage bout à bout de deux câbles non tendus.
Cette configuration est similaire à celle des coupleurs fixes en utilisant les mêmes prolongateurs individuels, toutefois sans ancrage primaire. Le capot est plus long pour permettre le déplacement des prolongateurs lors de la mise en tension du câble complet.



Unités	D (mm)	M (mm)	N (mm)	P (mm)	X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	V (mm)
CM 3C15	40	1050	1000	102	250	500	750	130
CM 4C15	45	1050	1000	108	250	500	750	140
CM 7C15	60	1050	1000	114	250	500	750	150
CM 9C15	65	1100	1050	159	300	550	800	200
CM 12C15	80	1150	1100	159	300	550	800	200
CM 13C15	80	1200	1150	168	300	550	800	200
CM 19C15	95	1200	1150	194	300	550	800	230
CM 22C15	105	1250	1200	219	350	600	800	230
CM 25C15	110	1250	1200	219	350	600	850	250
CMI 27C15	115	1300	1250	219	350	600	850	250
CM 31C15	120	1350	1300	244	400	650	900	280
CM 37C15	130	1530	1480	273	400	650	900	310

Toutes les unités sont marquées CE

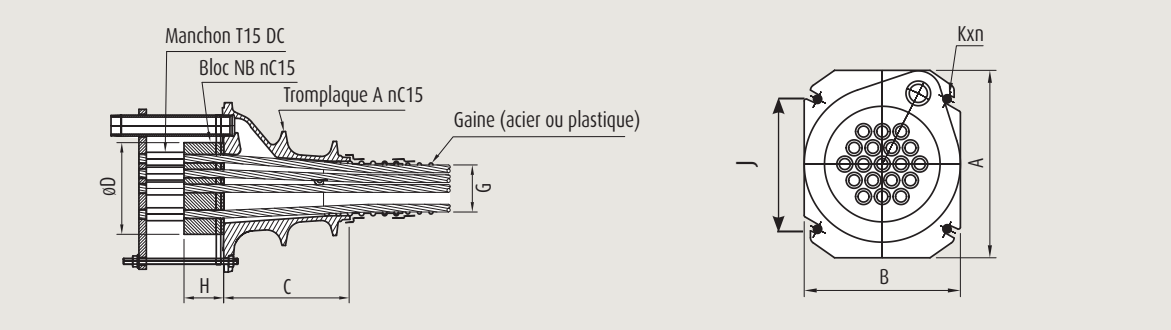


Ancrages noyés

Il existe trois types d'ancrages passifs noyés dans le béton utilisés en combinaison avec les ancrages actifs du modèle C : NB, N, et G. Les câbles sont mis en place avant bétonnage.

Ancrage noyé du type NB

Les ancrages NB sont composés d'un bloc d'ancrage perçé de trous cylindriques sur lequel s'appuient des manchons filés maintenus par une plaque arrière de retenue.



Unités	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	G (mm)	J (mm)	Kxn
3C15	150	110	120*	85	50	40**	91	M10x2
4C15	150	120	125*	95	50	45***	101	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	60	128	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	65	153	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	80	168	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	80	168	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	95	208	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	105	248	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	110	268	M16x4
25CC15	350	290	360	220	95	110	258	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	115	258	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	120	268	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	130	300	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	160	370	M20x4

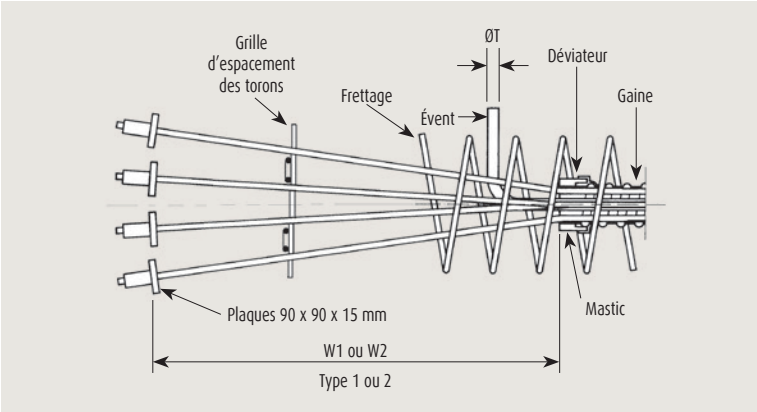
Toutes les unités sont marquées CE

** Tromplaque à 2 étages ** Variante gaine ovale 58x21*
**** Variante gaine ovale 75x21*

Unités	W1 (mm)	W2 (mm)	ØT (mm)
3C15	300	300	G 1/2"
4C15	350	350	G 1/2"
7C15	500	400	G 1/2"
9C15	600	400	G 1/2"
12C15	900	500	G 1/2"
13C15	1 200	500	G 1/2"
19C15	1 500	650	G 1"
22C15	1 800	750	G 1"
25C15	2 000	850	G 1"
27C15	2 000	1 000	G 1"
31C15	2 200	1 100	G 1"
37C15	2 500	1 280	G 1 1/2"
55C15	2 800	1 400	G 1 1/2"

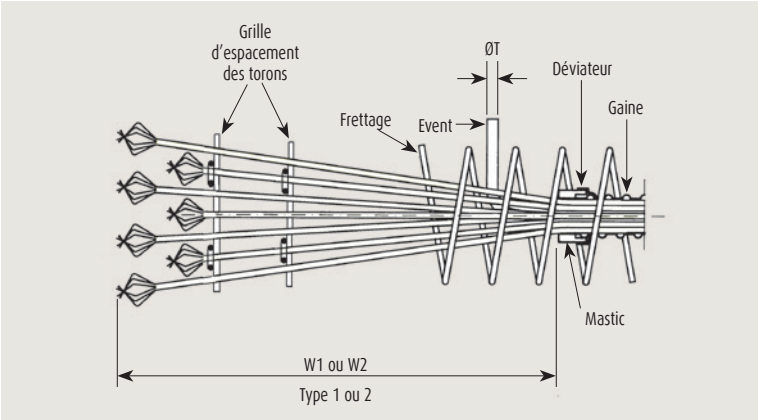
Ancrage noyé du type N

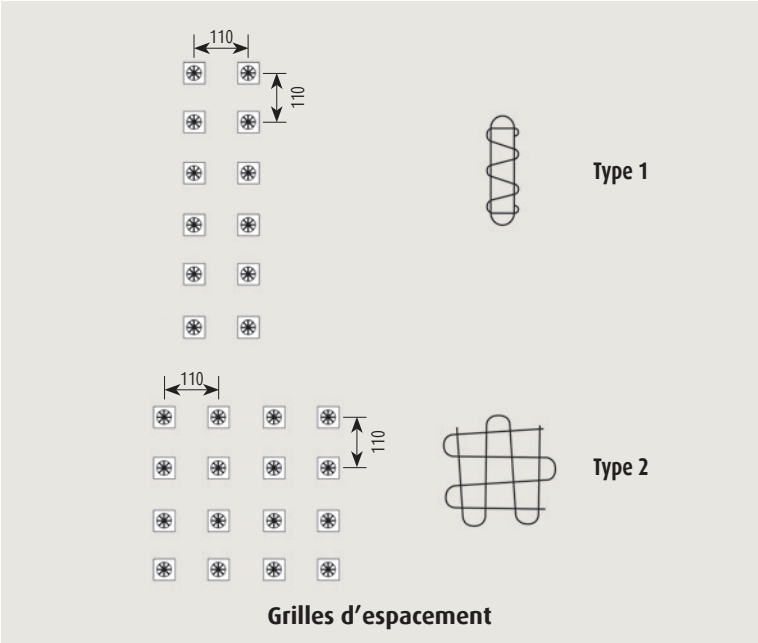
Dans l'ancrage du type N, chaque toron est muni d'un manchon filé qui s'appuie individuellement sur une plaque d'acier.



Ancrage noyé du type G

L'ancrage du type G est un ancrage par adhérence. L'extrémité de chaque toron est préformée de façon à créer un bulbe.





Unités	W1 (mm)	W2 (mm)	ØT (mm)
3C15	950	450	G 1/2"
4C15	950	500	G 1/2"
7C15	950	550	G 1/2"
9C15	950	550	G 1/2"
12C15	1 300	650	G 1/2"
13C15	1 300	650	G 1/2"
19C15	1 300	800	G 1"
22C15	1 500	1 000	G 1"
25C15	1 500	1 000	G 1"
27C15	1 700	1 250	G 1"
31C15	1 700	1 250	G 1"
37C15	2 000	1 250	G 1 1/2"
55C15	2 500	1 250	G 1 1/2"

EPR, Chine

Ancrages du modèle F pour éléments minces

Composition de l'ancrage du modèle F

Les ancrages du modèle F sont composés :
- d'un corps d'ancrage noyé dans le béton regroupant les fonctions de tête d'ancrage et de pièce de diffusion ;
- de mors, assurant l'ancrage des torons ;
- d'organes de protection définitive des mors, constitués de capots en PEhd (ou métalliques), remplis de graisse.

Catégories d'utilisation

Les ancrages du modèle F sont déstinés à la précontrainte d'éléments minces (dalles, hourdis, etc.).
Ils sont utilisés pour :
- la précontrainte non-adhérente au béton ;
- la précontrainte adhérente au béton.

Configurations de précontrainte intérieure adhérente

L'utilisation la plus courante des ancrages du modèle F en précontrainte intérieure adhérente est basée sur l'emploi de torons clairs lubrifiés dans une gaine nervurée en feuillard métallique, galvanisé ou non, généralement plate pour mieux s'insérer dans des éléments minces, et injectée d'un coulis de ciment après mise en tension des torons.

Les ancrages, la gaine et les armatures de précontrainte sont mis en place avant bétonnage de la structure. Ceci permet en particulier d'éviter le risque d'écrasement des gaines plates pendant le bétonnage qui empêcherait ultérieurement l'enfilage des torons.

Configurations de précontrainte intérieure non adhérente

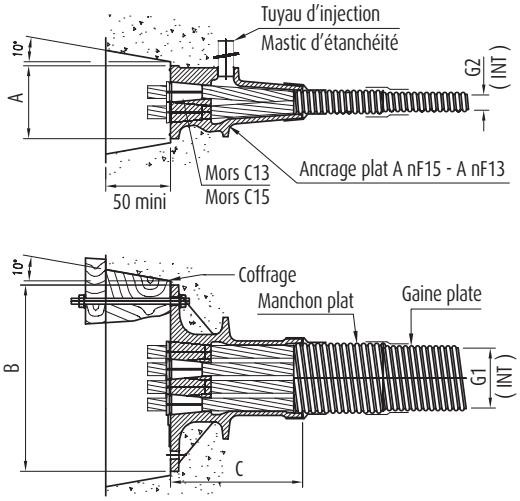
Les ancrages du modèle F pour la précontrainte intérieure non adhérente sont utilisés avec des torons protégés à la graisse, revêtus d'une gaine individuelle en PEhd. Ces armatures sont directement incorporées dans le ferraillage avant bétonnage moyennant des précautions pour ne pas endommager leur gaine individuelle.

L'ancrage individuel AF13/15 pour respectivement des torons T13 et T15 permet de répartir très uniformément dans les éléments minces les effets bénéfiques de la précontrainte.

Pont de Jamuna, Bangladesh

Précontrainte intérieure adhérente

Unités multitorons 3 à 5 F13/F15



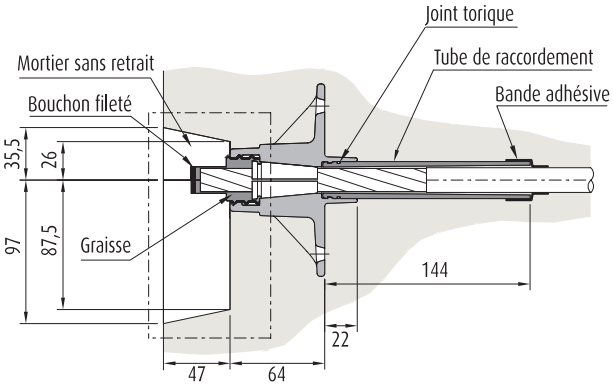
Notes : Les ancrages F sont conçus pour une résistance minimale de béton fcmin= 22 MPa (sur cylindre).
La méthodes de mise en œuvre habituelle est l'enfilage des torons dans les conduits (gaines plates) avant bétonnage.
Cependant, si nécessaire, il est aussi possible d'enfiler les torons après bétonnage de la structure, moyennant des dispositions particulières.

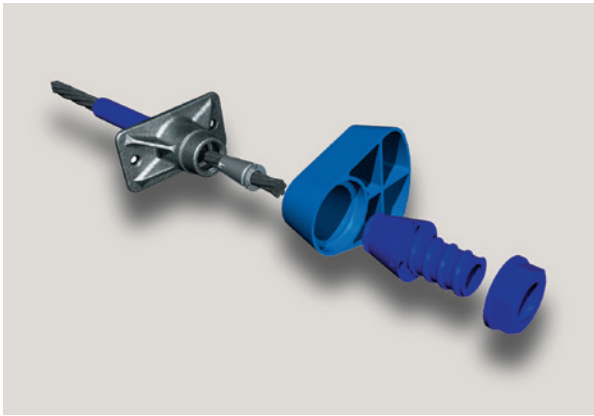
Unités	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G1 x G2 (mm^2)	G (mm)	H (mm)
A3 F13/15	85	190	163	58 x 21	95	200
A4 F13/15	90	230	163	75 x 21	100	240
A5 F13/15	90	270	163	90 x 21	100	280

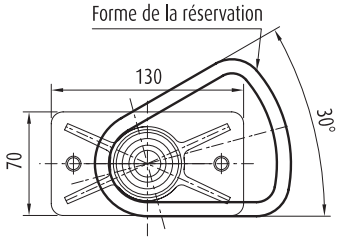
Pont à Rousson, France

Précontrainte intérieure non adhérente avec torons gainés graissés

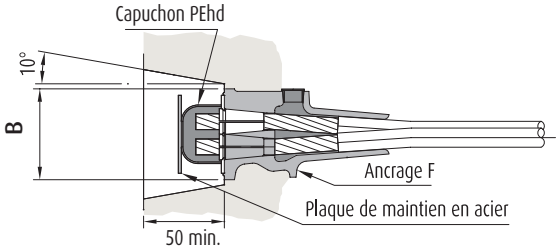
1/ Unité monotoron (1F13/1F15) CE

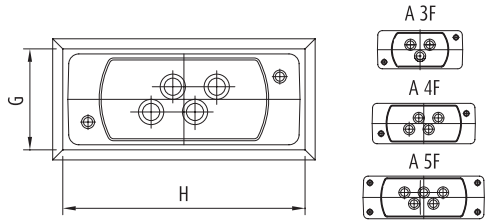


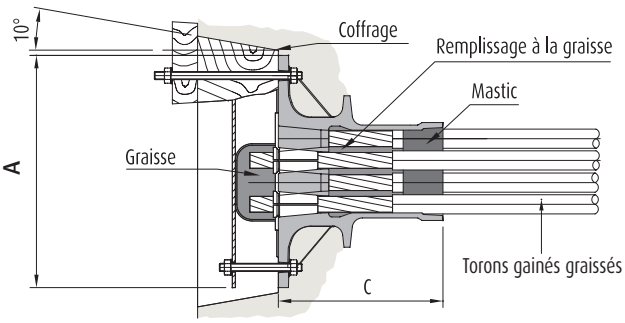




2/ Unités multitorons (3 à 5 F13/15)



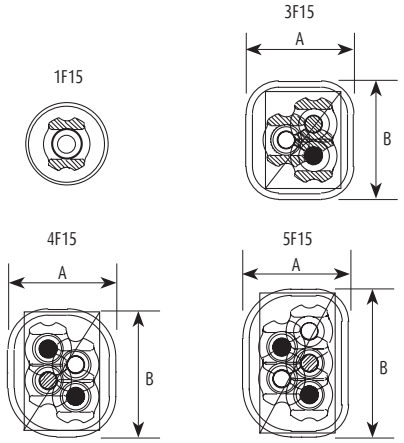


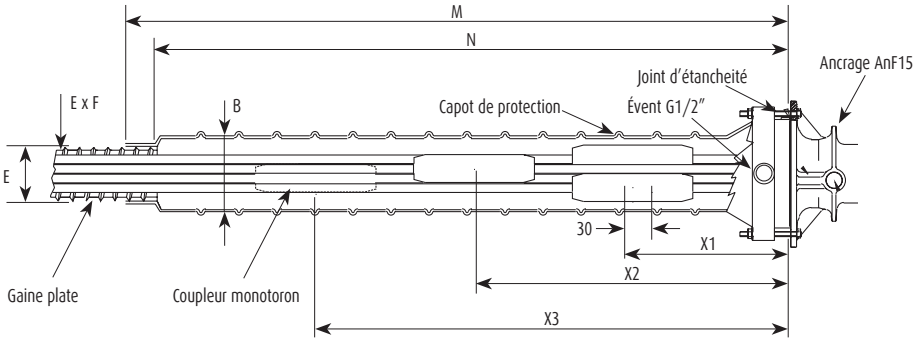


Unités	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G (mm)	H (mm)
A 3F 13/15	190	190	85	95	200
A 4F 13/15	230	230	90	100	240
A 5F 13/15	270	270	90	100	280

Coupleurs fixes CI monotoron

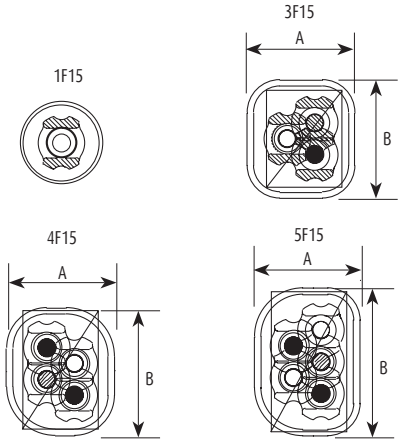
Précontrainte adhérente

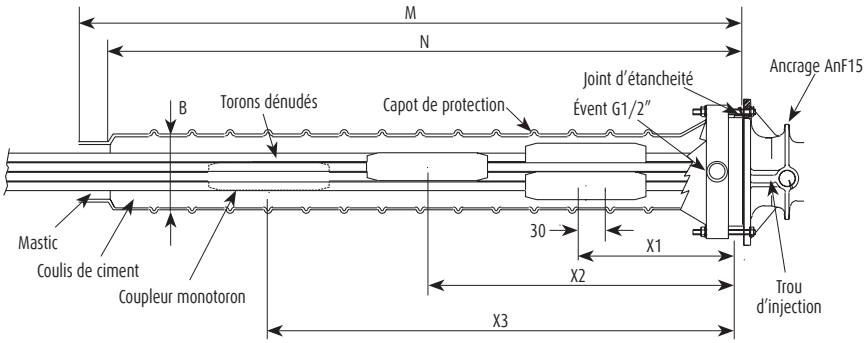




Unités	A (mm)	B (mm)	E (mm)	F (mm)	M (mm)	N (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)
CI 1F13/15	-	-	-	-	550	550	250	-	-
CI 3F13/15	100	100	58	20	800	750	250	500	750
CI 4F13/115	100	110	75	20	1050	1000	250	500	750
CI 5F13/15	100	140	90	20	1050	1000	250	500	750

Précontrainte non adhérente





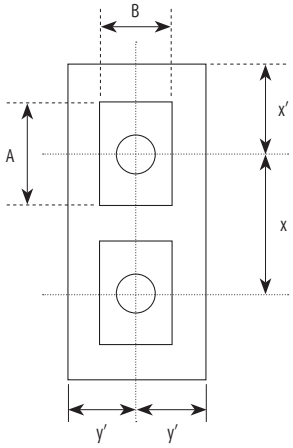
Unités	A (mm)	B (mm)	M (mm)	N (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)
CI 1F13/15	-	-	550	500	250	-	-
CI 3F13/15	100	100	800	750	250	500	750
CI 4F13/15	100	110	1050	1000	250	500	750
CI 5F13/15	100	140	1050	1000	250	500	750

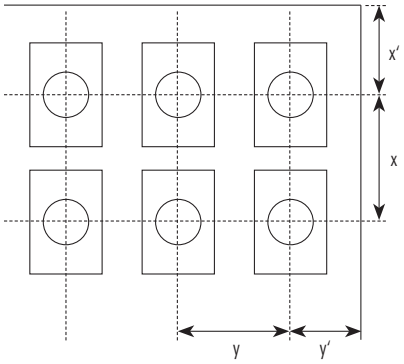
Dispositions des ancrages du modèle F

Les ancrages doivent être disposés à une distance suffisante de la paroi et être séparés entre eux d'une valeur d'entraxe minimum. Ces distances sont obtenues à partir des dimensions a et b des montages d'essais réalisés dans le cadre de la procédure de l'Agrément Technique Européen.
On considère dans ce qui suit que les ancrages sont disposés selon deux directions normales : x et y, avec le petit côté de la tromplaque orienté selon l'axe y.

Notation

- A, B : dimensions en plan de la tromplaque (A ≥ B).
- a , b : valeurs données dans le tableau ci-dessous.
- x, y : l'entraxe des ancrages dans les directions x et y.
- x' y' : la distance de l'ancrage au parement le plus proche dans les directions x et y.
- $f_{cm,o}$: la résistance moyenne du béton à la compression mesurée sur cylindre avant la mise en tension.





Les dimensions x et y doivent satisfaire les conditions suivantes :

$x \geq A + 30$ (mm)
$y > B + 30$ (mm)
$x \cdot y \geq a \cdot b$
$x \geq 0{,}85\ a$
$y \geq 0{,}85\ b$
$x' \geq 0{,}5\ x$ + enrobage de béton — 10 (mm)
$y' \geq 0{,}5\ y$ + enrobage de béton — 10 (mm)

Distances a et b

Unités	$f_{cm,o}$ (MPa)	a (mm)	b (mm)
1F 13/15	22	190	140
3/4 F 13	22	500	160
3/4 F 15	22	390	190
5 F 13	22	570	260
5 F 15	22	510	240

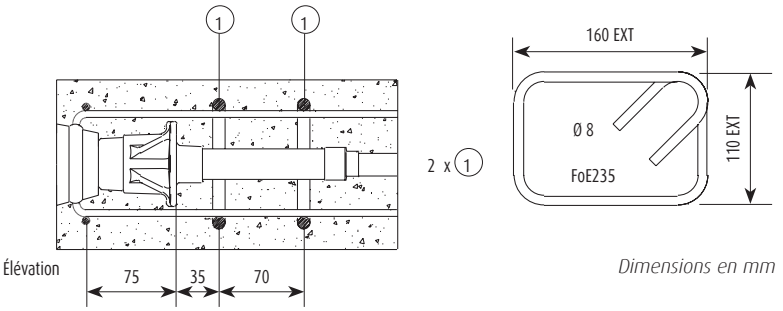
Les valeurs a et b sont données dans le tableau ci-contre, pour trois différentes résistances de béton $f_{cm,o}$ dans le cas du modèle F.

Si le projet prévoit une mise en tension partielle ou un taux de mise en tension inférieur à min [0,8 F_{pk} ; 0,9 $F_{p0,1\%}$], on peut procéder par interpolation pour déterminer la valeur de $f_{cm,o}$ requise, en considérant qu'à 50% de la pleine force, la résistance requise pour le béton peut être amenée aux 2/3 des valeurs indiquées dans les deux tableaux précédents et qu'à 30% de cette force, la résistance requise pour le béton peut être ramenée à la moitié des mêmes valeurs indiquées.

Frettage des ancrages du modèle F

1/ Unité monotoron

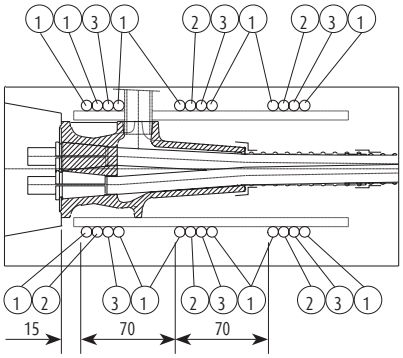
A 1F13
A 1F15



Dimensions en mm

2/ Unités multitorons (3 à 5F13/15)

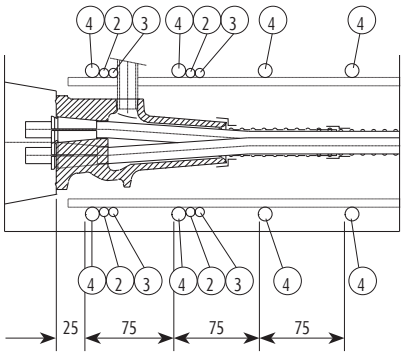
A 3F13
A 4F13



Type	Nbre	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
1	12	8	320			
2	3	8	320	20	160	140
3	3	8	320	20	160	140

Voir le type des barres plus bas.

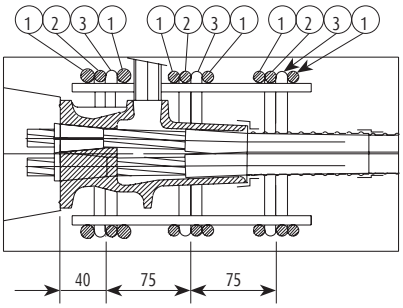
A 3F15
A 4F15



Type	Nbre	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
2	2	8	350	60	160	160
3	2	8	350	60	160	160
4	4	12	350		160	160

Voir le type des barres plus bas.

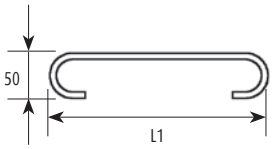
A 5F15
A 5F13



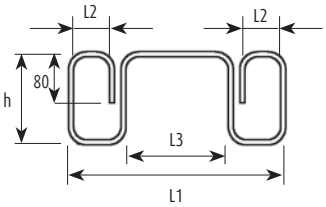
Type	Nbre	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
1	12	10	380	-	-	-
2	3	10	380	55	190	145
3	3	10	380	55	190	145

Voir le type des barres plus bas.

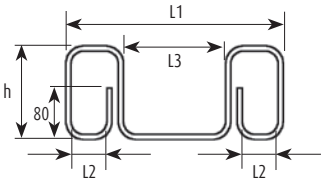
Type N°1



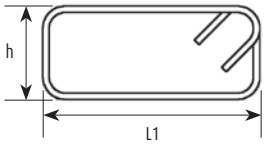
Type N°2



Type N°3



Type N°4

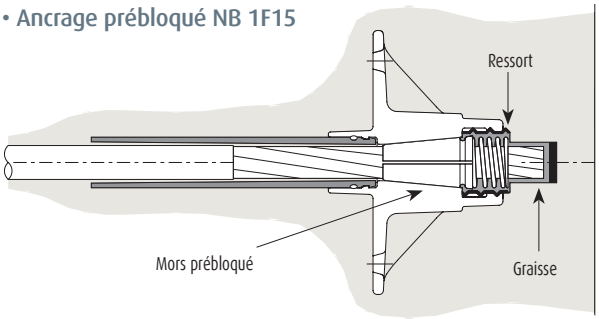


Ancrages noyés pour modèle F

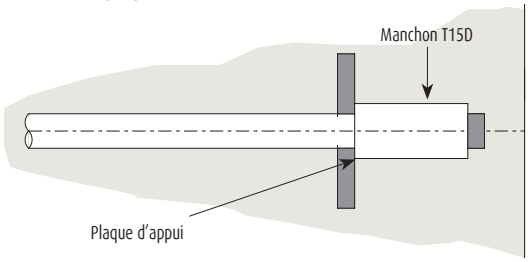
Il existe trois types d'ancrages passifs noyés dans le béton utilisés en combinaison avec les ancrages actifs du modèle F : l'ancrage NB1F15 pré-bloqué, le type N employant une plaque individuelle sur lequel s'appuie un manchon filé et le type G fonctionnant par adhérence. Les câbles sont mis en place avant bétonnage.

1/ Unité monotoron

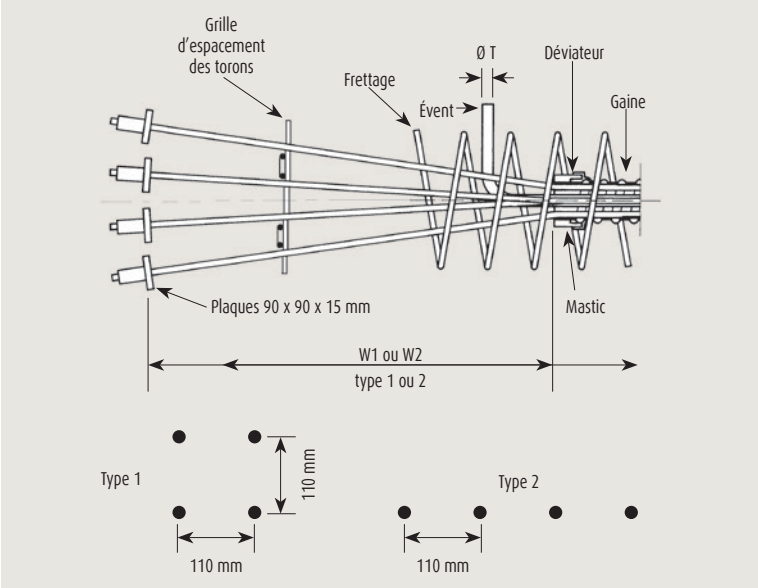
• Ancrage prébloqué NB 1F15



• Ancrage par manchon filé



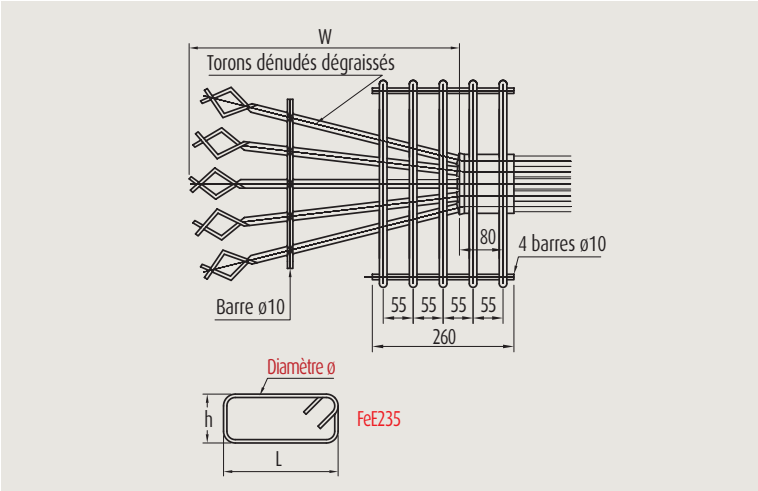
2/ Unités multitorons (3 à 5F13/15)



Ancrage noyé du type N

Dans l'ancrage du type N, chaque toron est muni d'un manchon filé qui s'appuie individuellement sur une plaque d'acier.

Unités	N		ØT (mm)
	W1 (mm)	W2 (mm)	
N3 F13/15	300	300	G 1/2"
N4 F13/15	350	350	G 1/2"
N5 F13/15	500	400	G 1/2"



Ancrage noyé du type G

L'ancrage du type G est un ancrage par adhérence. L'extrémité de chaque toron est préformée en forme de bulbe.

Unités	W (mm)	Ø (mm)	H (mm)	L (mm)
3F13	950	10	120	300
4F13	950	10	120	320
5F13	950	12	120	340
3F15	950	10	120	300
4F15	950	12	145	340
5F15	950	14	145	380

Composants communs aux modèles C et F

1/ Torons de précontrainte

Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques principales des torons les plus courants, utilisables avec le système de précontrainte Freyssinet :

Caractéristiques des torons selon prEN10138-3

Norme	Classe MPa	Diamètre nominal (mm)	Section nominale de l'armature (mm²)	Masse nominale (kg/m)	Charge de rupture garantie (Fpk kN)	Limite élastique (Fp0,1 kN)
pr EN 10138-3	1 770	12,5	93	0,73	165	145
		12,9	100	0,78	177	156
		15,3	140	1,09	248	218
		15,7	150	1,18	265	234
	1 860	12,5	93	0,73	173	152
		12,9	100	0,78	186	164
		15,3	140	1,09	260	229
		15,7	150	1,18	279	246

- *L'allongement caractéristique sous charge maximale est pour tous les torons ≥ 3,5%,*
- *la relaxation maximale à 1000 heures sous 0,7 fpk est pour tous les torons ≤ 2,5%.*

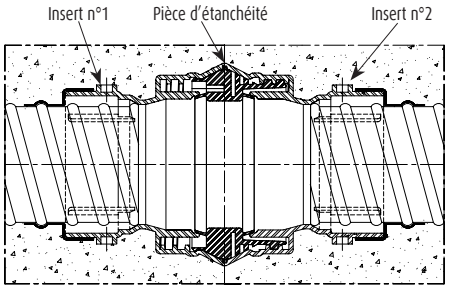
Caractéristiques des câbles composés de torons de diamètre nominal 15,7mm et 0,6"

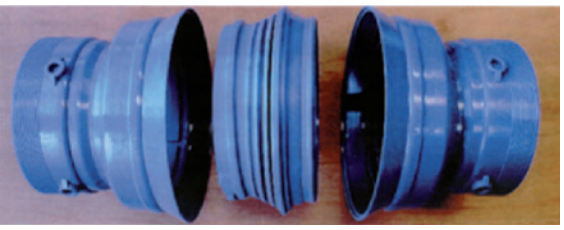
Unités	Type de torons						
	T 15,7 pr EN 10138-1 et 3				ASTM A-416-96 0,6 classe 270		
Nombre de torons	Section nominale (mm²)	Masse (kg/m)	Classe 1 770 (Fm kN)	Classe 1 860 (Fm kN)	Section nominale (mm²)	Masse (kg/m)	Fm (kN)
1	150	1,17	265	279	140	1,102	260,7
2	300	2,34	530	558	280	2,205	521,4
3	450	3,54	795	837	420	3,306	782
4	600	4,72	1 060	1 116	560	4,41	1 043
7	1 050	8,26	1 855	1 953	980	7,71	1 825
9	1 350	10,62	2 385	2 511	1 260	9,92	2 346
12	1 800	14,16	3 180	3 348	1 680	13,22	3 128
13	1 950	15,34	3 445	3 627	1 820	14,33	3 389
19	2 850	22,42	5 035	5 301	2 660	20,94	4 953
22	3 300	25,95	5 830	6 138	3 080	24,24	5 735
25	3 750	29,50	6 625	6 975	3 500	27,55	6 518
27	4 050	31,85	7 155	7 533	3 780	29,75	7 039
31	4 650	36,58	8 215	8 649	4 340	34,16	8 082
37	5 550	43,66	9 805	10 323	5 180	40,77	9 646
55	8 250	64,9	14 575	15 345	7 700	60,61	14 339

Gaine nervurée en acier

LIASEAL			
Diamètre extérieur du LIASEAL (mm)	125	140*	155*
Diamètre intérieur de la gaine (mm)	65	80	95

**Disponible sur demande*





Liaseal

2/ Conduits de précontrainte intérieure

Les types de conduits suivants sont utilisés pour les câbles des modèles C et F :

Gaine nervurée en feuillard d'acier laminé

Les dimensions recommandées pour les conduits sont indiquées dans les tableaux associés à chaque ancrage. Cependant, il faut vérifier que les dimensions proposées sont compatibles avec le règlement applicable. Lorsqu'un coefficient de frottement réduit est requis, un feuillard phosphaté-savonné (L.F.C.) peut être utilisé (voir page 28).

Gaine plastique nervurée Plyduct

Développée et brevetée par Freyssinet pour satisfaire aux exigences de recommandations de la fib (Fédération Internationale du Béton) "Gaines en plastique annelées pour post-tension interne adhérente" (2000) et la Concrete Society TR47 "Durable Bonded Post-tensioned Concrete Bridges", elle est parfaitement étanche à l'air et à l'eau.

Diamètre intérieur de la Gaine PLYDUCT (avec manchon = d + 10)									
Épaisseur 2,5 mm	40	45	50	60	65	70	80	90	95
Épaisseur 3,0 mm	100	105	110	115	120	130	160	-	-

Liaseal

Développé par Freyssinet, le coupleur de gaine Liaseal assure l'étanchéité des conduits aux joints de voussoirs, en particulier lorsqu'ils sont conjugués et ne sont plus accessibles. Associés à la gaine Plyduct, ils permettent de réaliser des conduits plastiques continus et étanches.

Tubes en acier

Pour réaliser des conduits parfaitement étanches ou fortement déviés.

Rayon de courbure

Le rayon de courbure du conduit doit être au moins égal à :
- 100 Ø pour les gaines rigides cintrables à la main rondes ou plates (Avec Ø = diamètre intérieur du conduit),
- 3 m pour les tubes en acier.

Exceptionnellement, le rayon de courbure peut être réduit à 20 Ø pour les tubes en acier sous réserve que :
- ce rayon ne soit pas inférieur à 1,1 m pour les torons T13 et 1,3 m pour les torons T15,
- la tension n'excède pas 70% de l'effort de rupture garanti de l'armature dans la zone où le rayon est inférieur à trois mètres,
- la somme des déviations angulaires le long de l'armature ne dépasse pas $3\varpi/2$ radians,
- la zone de forte courbure soit considérée comme un ancrage mort lorsque la déviation angulaire y est supérieure à $\varpi/2$ radians.

Cas particulier

Lorsque l'on utilise des gaines (L.F.C.), il est possible de réduire le rayon de courbure des gaines cintrables à la main, tout en conservant une transmission correcte des forces de précontrainte. La limite inférieure du rayon de courbure est alors $R_{min} \geq 1{,}35\sqrt{n}$, représentant le nombre de torons du câble.

Frottement en partie courante

Pour le calcul de l'effort de précontrainte, les valeurs des coefficients de frottement (μ) et de festonnage (k), varient en fonction des utilisations de la nature des conduits, de leur traitement de surface et de la relation $P_{(x)}=P_{max}e^{-\mu(\Theta+kx)}$.

Conduits en PEhd pour précontrainte extérieure

Rayon de courbure

Unités	Rayon de courbure minimum aux ancrages (m)	Rayon de courbure minimum dans les déviateurs (m)
7C15	3,0	2,0
12C15	3,5*	2,5*
19C15	4,0*	3,0*
27C15	4,5	3,5
37C15	5,0*	4,0

** : selon norme ENV 1992-1-5:1994*

Gaine L.F.C.

3/ Conduits de précontrainte extérieure

Les câbles injectés au coulis de ciment

- tube en polyéthylène à haute densité (PEhd) dans les zones extérieures au béton. Les tubes sont de type PE80 ou PE100. L'utilisation de tubes de pression nominale PN 6,3 est recommandée.
- tube en acier dans les zones d'ancrage, les traversées de diaphragmes et de déviateurs.

Les câbles injectés à la graisse ou à la cire

L'utilisation de tubes de pression nominale PN 10 est recommandée, sauf étude préalable.

Rayon de courbure

En l'absence d'exigences nationales plus contraignantes, le rayon de courbure du câble dans les déviateurs, normalement constitués de tubes en acier cintrés, respecte les valeurs minimales ci-contre.

Dans le cas d'armatures en torons gainés graissés disposés dans des conduits préalablement injectés au coulis de ciment, il convient de respecter :
- Torons isolés : R min ≥ 1m
- Torons groupés en paquets : R min ≥ 2,5m

Coefficient de frottement

Utilisation	Nature du conduit	Coefficient de frottement μ(rad^{-1})		Coefficient k (rad/m)
		toron lubrifié	toron non lubrifié	
Précontrainte intérieure adhérente	Gaine feuillard acier	0,17	0,19	0,007
	Gaine LFC	0,10	0,12	0,007
	Plyduct	0,10	0,12	0,007
	Tube lisse en acier	0,16	0,24	0,007
Précontrainte intérieure non adhérente	Monotoron	0,05	-	0,007
	Groupe de monotoron pré-injectés	0,05	-	0,012
Précontrainte extérieure	Tube lisse PEhd	0,10	0,12	0
	Tube lisse en acier	0,16	0,24	0

La fluctuation sur le coefficient de frottement est usuellement de ± 25%.

4/ Produits d'injection

Les torons de précontrainte, lorsqu'ils ne sont pas individuellement gainés graissés, sont protégés par injection du conduit qui les contient. Le produit de remplissage est soit du coulis de ciment qui génère une couche de passivation à la surface de l'acier qui le protège contre la corrosion, soit un produit souple qui entoure l'armature d'une enveloppe étanche à l'eau.

Coulis de ciment

Pour garantir un remplissage parfait des conduits et donc une protection durable des aciers de précontrainte, les propriétés du coulis de ciment doivent être ajustées à la technique d'injection qui diffère en fonction du tracé des câbles, des températures sur chantier, de la position des évents et des points d'injection, etc.
Sur la base d'études en laboratoire et de son expérience acquise dans des projets de toute nature, Freyssinet a défini une gamme de coulis de précontrainte répondant aux conditions spécifiques de chaque projet.

Coulis thixotropé

• Coulis à haute stabilité FREYSSIFLOW HP 215
Ces coulis permettent l'injection des câbles à fort dénivelé sans opération de réinjection grâce à l'absence de ressuage.

• Coulis spécial à longue durée pratique d'utilisation FREYSSIFLOW RT 514
Ces coulis conservent une haute fluidité durant une longue période permettant ainsi d'injecter des câbles de grands volumes sur les chantiers présentant des contraintes d'aménagement importantes comme les enceintes de réacteurs nucléaires.

• Coulis spécial thixotropé FREYSSIFLOW TX
Ces coulis caractérisés par leur seuil de cisaillement élevé sont particulièrement conseillés pour l'injection des câbles de grand diamètre à géométrie complexe. La stabilité du front de propagation évite l'effondrement du coulis au passage des points hauts et empêche ainsi la création de poches d'air. L'utilisation du coulis Freyssiflow TX permet de limiter, voire d'éviter l'utilisation d'évents d'injection.

Pour des applications demandant de faibles volumes de coulis de ciment, il peut s'avérer plus judicieux d'utiliser un produit prêt à l'emploi, ne nécessitant que l'ajout d'eau. Pour des applications nécessitant de gros volumes de coulis de ciment, Freyssinet peut installer sur chantier une centrale de malaxage permettant de réaliser des campagnes d'injection de familles entières de câbles.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES COULIS DE PRÉCONTRAINTE

Propriété	Nombre de test	Critère d'acceptation	Méthode d'essai
Granulométrie	1 essai	Aucun résidu	EN 445 - Tamis
Fluidité	1 essai immédiatement après malaxage	$11s \leq t_0 \leq 20s$	EN 445 - Cône de Marsh
	1 essai à 15 min, 30 min, 60 min, 90 min et 120 min	$t \leq 25s$	
Température	1 mesure à t0, t0+30 min, t0+60 min et t0+120 min.	$T \leq 30$ °C	Thermomètre
Ressuage	3 essais	La moyenne des 3 mesures ne doit pas dépasser 0,3% après 3 h.	EN 445 - Tube 1 m
Changement de volume	3 essais	Le changement de volume doit être compris entre -1% et +5% à 1h, 3h et 24h	EN 445 - Tube 1 m
Résistance à la compression	3 essais	≥ 27 MPa à 7 jours ≥ 30 MPa à 28 jours	EN 196 - 1

Produit souple

Les produits souples anticorrosion sont chimiquement inertes vis-à-vis des aciers de précontrainte. Ils se classent en deux catégories principales : les graisses et les cires (injectées à chaud). Freyssinet a mis au point une cire artificielle **Freyssiwax** à longue chaîne moléculaire spécifiquement étudiée pour être stable dans le temps et minimiser les phénomènes de ressuage.

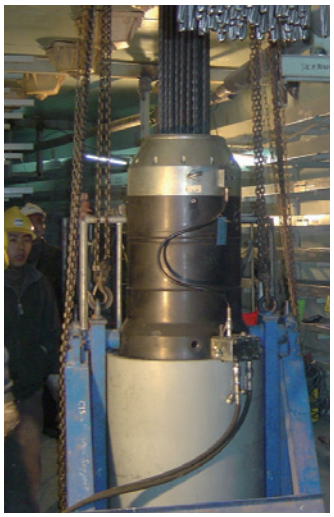
Mise en Œuvre

La mise en œuvre du système Freyssinet comprend les 4 étapes principales suivantes :

1/ mise en place des conduits et des tromplaques ;
2/ enfilage des torons et mise en place des ancrages ;
3/ mise en tension ;
4/ injection et cachetage.

1/ Mise en place des conduits et des tromplaques

En précontrainte intérieure, les conduits sont placés avant bétonnage. Les gaines nervurées en acier ou en PEhd sont les plus courantes.
En précontrainte extérieure, les conduits les plus généralement utilisés sont les tubes en PEhd. Une attention particulière sera portée sur le positionnement et le maintien des conduits.



2/ Enfilage des torons et mise en place des ancrages

Après vérification du libre passage dans les conduits, les câbles sont, en général, enfilés en poussant chaque toron, à partir d'une extrémité.
Le matériel d'enfilage Freyssinet permet de réaliser des câbles de précontrainte extérieure de plus de 200 m de longueur.

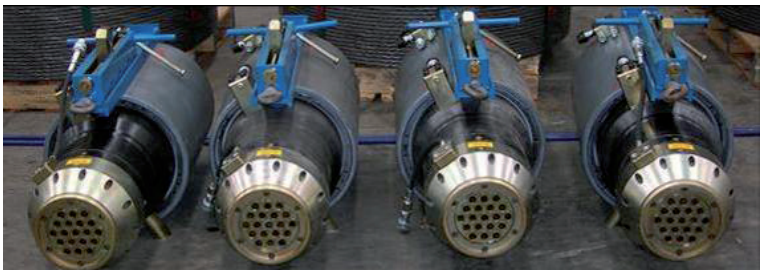
3/ Mise en tension

Les câbles munis d'ancrages de modèle C et F sont tendus avec des vérins hydrauliques monotoron ou multitorons avec blocage hydraulique des mors d'ancrage. Des vérins sans blocage hydraulique ou monotoron peuvent être employés le cas échéant.

La force initiale est :

- la force de tension après transfert à l'ancrage pour :
  - Eurocode 2 (la plus faible des deux valeurs 0,75 f_{pk} et 0,85 $f_{p0,1k}$),
  - Réglement AASHTO (0,7 f_{pk}),
- la force de tension avant transfert à l'ancrage pour :
  - Réglement Eurocode 2 et BPEL 91 (la plus faible des 2 valeurs 0,8 f_{pk} et 0,9 $f_{p0,1}$)
  - Réglement AASHTO (0,7 f_{pk}).

L'opération de mise en tension ne pourra démarrer que si la résistance mécanique du béton mesurée sur chantier, au voisinage de la zone d'ancrage, est supérieure à la valeur fcm,0 retenue pour le projet.

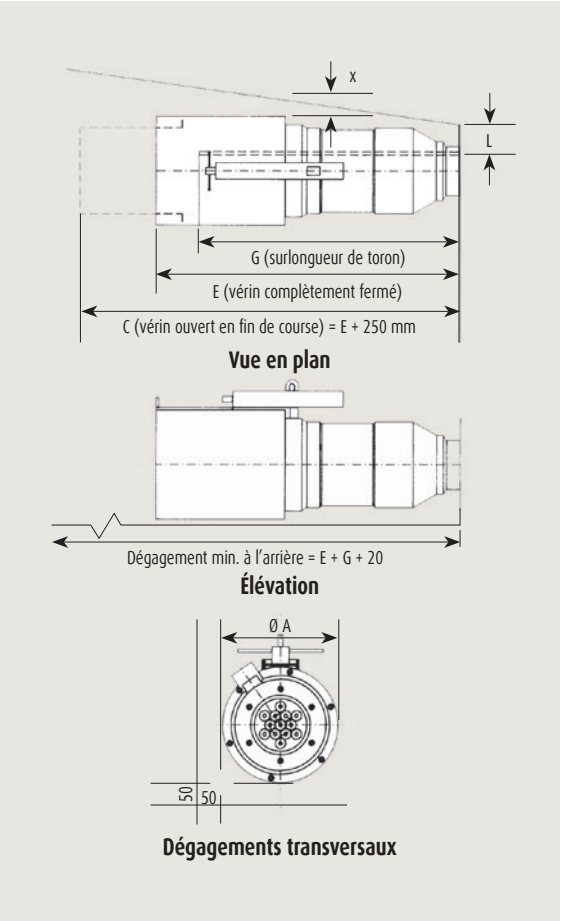


▶ Modèle C

Vérins de type CC

Les vérins du type CC, grâce à leur compacité, permettent de diminuer :
- les dimensions des cachetages (nez réduit) ;
- les distances aux parois, donc les moments parasites ;
- le volume de béton des bossages et nervures nécessaires à la sortie des câbles en travée ;
- la possibilité d'augmenter l'excentrement des câbles et donc leur efficacité.

La compacité et l'automatisation des vérins du type CC facilitent les opérations de manutention et de mise en tension.



Encombrements des vérins CC

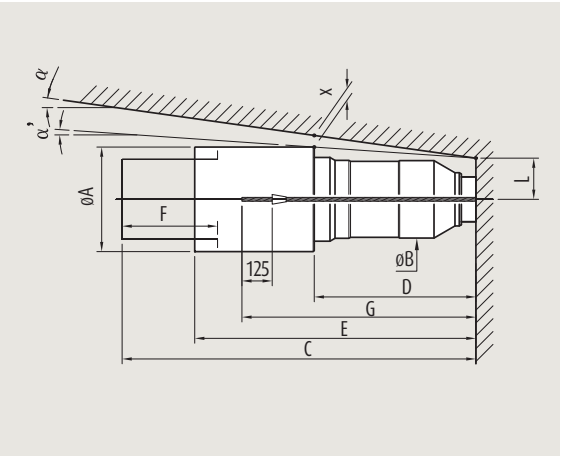
Vérins	Unités	ØA (mm)	E (mm)	G (mm)	L (mm)	α pour x ≈ 50	Course (mm)
CC 350	7C15	360	1 105	690	120	11°	250
	9C15		1 105	690	150	8°	
	12C15		1 115	700	150	8°	
	13C15		1 074	660	150	9°	
CC 500	7C15	438	1 085	688	120	15°	250
	9C15		1 085	688	150	13°	
	12C15		1 095	698	150	13°	
	13C15		1 100	703	150	12°	
	19C15		1 071	674	170	11°	
CC 1000	19C15	593	1 160	723	170	16°	250
	22C15		1 170	733	210	13°	
	25C15		1 175	738	210	13°	
	25C15P		1 175	738	210	13°	
	27C15		1 180	743	210	13°	
	31C15		1 146	709	210	13°	
	37C15		1 151	714	240	10°	
CC 1500	37C15	722	1 550	770	240	9°	350
	55C15		1 986	700	280	8°	

Les câbles 3 et 4C15 sont tendus au vérin K100 (voir page suivante).

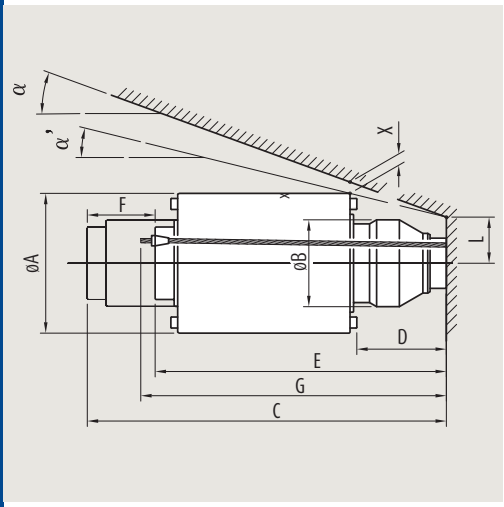
Vérins de type C/F

Vérins	Unités	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α' actuel	α pour x ≈ 50
C350F	7C15	355	263	1 415	731	1165	250	1120	120	4°30′	8°
	9C15*			1 415	731	1165		1120	150	2°54′	8°
	12C15*			1 115	741	1175		1130	150	3°50	8°
	13C15*			1 374	675	1124		1080	150	2°20′	7°
C500F	7C15	432	320	1513	714	1213	300	1080	120	7°39′	12°
	9C15*			1523	709	1223		1085	150	7°25′	13°
	12C15*			1533	719	1233		1095	150	7°6′	13°
	13C15			1538	724	1238		1100	150	5°13′	9°
	19C15			1482	668	1182		1050	170	3°56′	8°
C1000F	19C15	582	417	1583	754	1283		1110	170	9°	13°
	22C15*			1593	764	1293		1120	210	7°4′	11°
	25C15			1593	764	1293		1120		6°03′	10°
	25CC15*			1593	764	1293		1120		6°01′	10°
	27C15*			1598	769	1298		1125		6°01′	10°
	31C15			1603	774	1303		1130		5°58′	10°
	37C15			1552	718	1252		1080	240	4°04′	8°
C1500F	31C15	707	512	2423	134	1923	500	1250	210	7°13′	10°
	37C15			2438	1144	1938		1270	140	5°39′	8°
	55C15			2375	1076	1875		1200	280	3°54′	7°

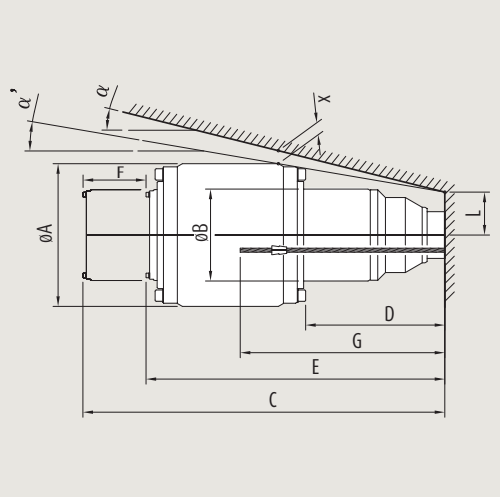
**Disponibilité sur demande.*



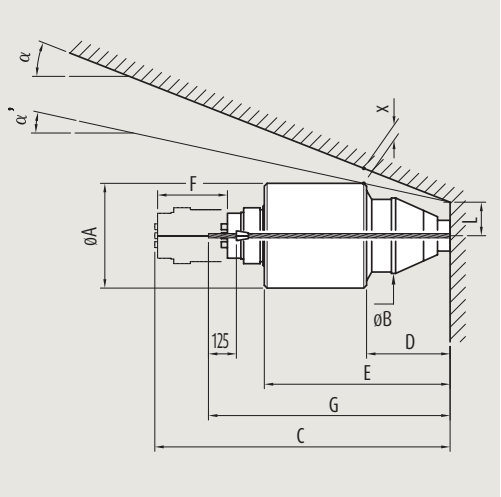
Le croquis est basé sur un dispositif de suspension du vérin situé dans un plan perpendiculaire à celui du croquis.



Le croquis est basé sur un dispositif de suspension du vérin situé dans un plan perpendiculaire à celui du croquis.



Le croquis est basé sur un dispositif de suspension du vérin situé dans un plan perpendiculaire à celui du croquis.



Le croquis est basé sur un dispositif de suspension du vérin situé dans un plan perpendiculaire à celui du croquis.

Vérins de type K/C

Vérins	Unités	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α' actuel	α pour x ≈ 50
K100C	3C15	290	220	913	256	713	200	820	100	9°21′	19°
	4C15			918		718					
K200C	7C15	350	263	1154	435	954		1060	120	6°52′	13°
K350C	9C15	440	263	1153	324	903	250	1005	150	9°09′	17°
	12C15			1163	334	913		1015	150	9°40′	16°
	13C15			1168	339	918		1020	150	9°33′	16°
K500C	19C15	515*	320	1333	361	1083		1136	170	13°23′	21°
		508			353					13°57′	23°
	22C15	515*		1343	349	1093		1146		15°59′	21°
		508			341					16°32′	23°
K700C	25C15	640*	419	1465	420	1215		1320	210	12°25′	18°
	25CC15	609			454					11°45′	18°
	27C15	640*		1465	438	1215		1320		11°33′	18°
		609			474					10°21′	16°
	31C15	640*		1475	430	1225		1330		12°09′	18°
		609			464					11°30′	18°
K1000C		770*	492	1548	490	1298		1400		15°59′	21°
		720			523					16°40′	21°
	37C15	770*	492	1497	434	1247		1350	240	14°23′	20°
		720			467					15°20′	20°

**Disponibilité sur demande.*

Vérins de type K500F

Vérins	Unités	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α' actuel	α pour x ≈ 50
K500F	13C15	565	364	1462	580	1212	250	840	150	9°41′	14°
	19C15			1433	551	1183		810	170	9°17′	13°

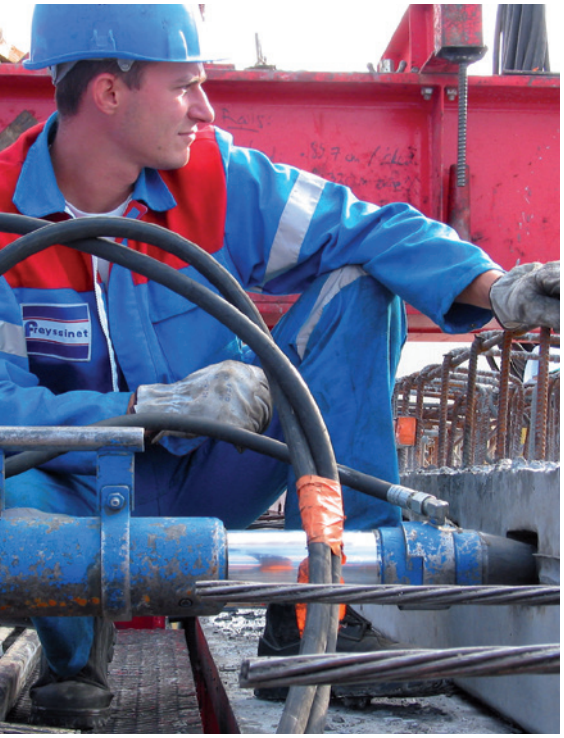
Vérins de type VP/C

Vérins	Unités	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α' actuel	α pour x ≈ 50
VP260C	7C15	375	270	1151	299	735	250	980	120	12°19′	21°
	13C15			1126	264	700		945	150	8°5′	19°
VP650C	19C15	560	395	1602	310	1052	300	1400	170	19°32′	28°
	31C15			1441	320	973		1410	210	12°20′	21°

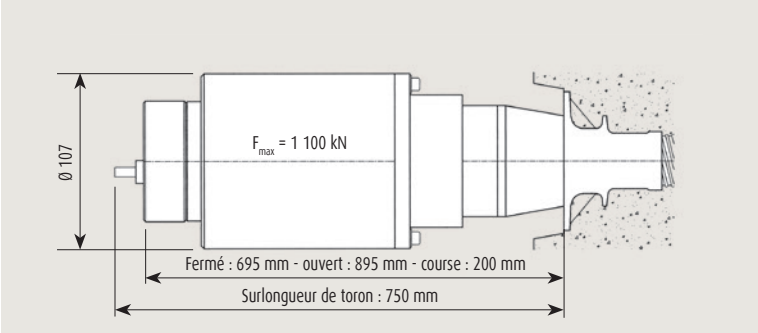
Modèle F

La mise en tension des câbles avec des ancrages 3F15, 4F15 et 5F15 peut se faire, soit en agissant sur le câble complet avec un vérin K100, soit toron par toron avec un vérin M23.

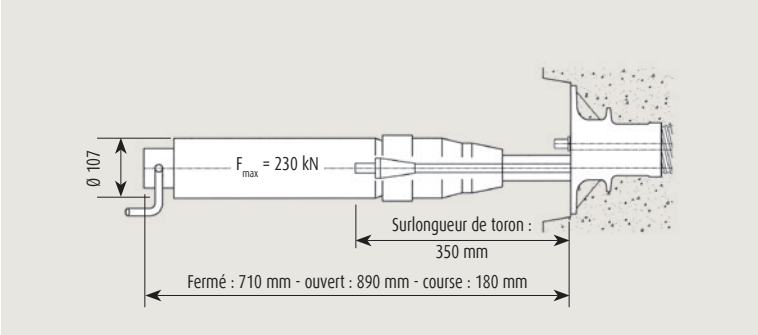
Les principales dimensions de ces vérins sont indiquées ci-dessous :



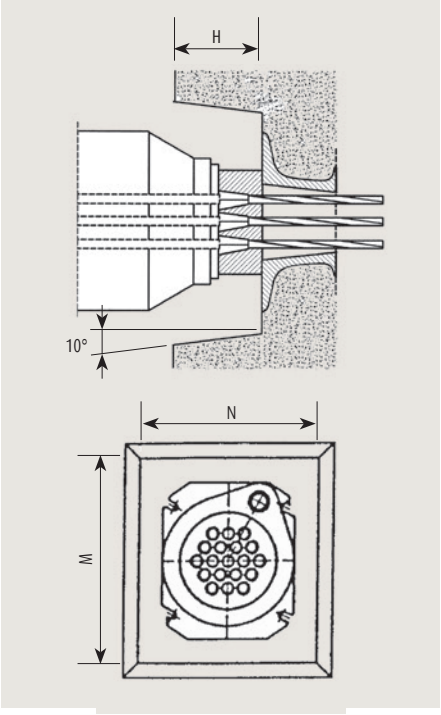
Viaduc de la Sioule, France



K 100



M 23



Cachetage définitif des ancrages

Unités	M (mm)	N (mm)	H (mm)
3F15	200	95	50
3C15	200	170	120
4F15	240	100	50
4C15	200	180	125
5F15	280	100	50
7C15	230	210	125
9C15	275	245	125
12C15	290	260	150
13C15	300	270	150
19C15	350	310	160
22C15	380	335	170
25C15	410	360	170
25C15P	410	360	170
27C15	400	350	180
31C15	435	380	180
37C15	470	410	195
55C15	560	480	230

4/ Injection et cachetage

• L'injection du câble en partie courante et le cachetage des ancrages ont pour but de protéger les câbles contre la corrosion. L'injection du câble se fait par un remplissage soit au coulis de ciment constituant un milieu passivant pour les aciers, soit par des produits hydrophobes, graisse ou cire, qui réalisent un enrobage continu et étanche aux agents agressifs.

Formulation de coulis de ciment en laboratoire Freyssinet

• Pour que la protection contre la corrosion soit effective, il convient d'assurer un remplissage complet des conduits, sans poche d'air pouvant constituer une zone d'accumulation d'eau d'infiltration. Un tel résultat est généralement obtenu en sélectionnant la bonne vitesse de progression du coulis dans la gaine et par des évents en points hauts des câbles déviés.

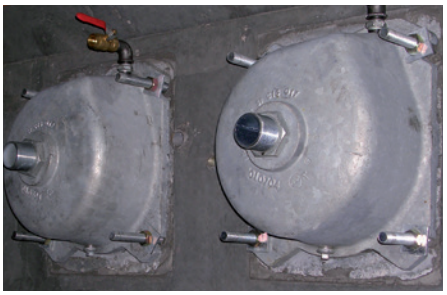
• Pour des tracés complexes, par exemple des câbles très déviés voire verticaux, ou pour pallier à d'éventuelles difficultés d'installation de purges en points hauts, Freyssinet a développé des techniques d'injection spécifiques, décrites ci-dessous.

Injection sous vide

Elle a pour but de réaliser un vide d'air partiel dans le conduit avant son remplissage afin de ne pas emprisonner des poches d'air. Cette technique s'emploie exclusivement avec des conduits étanches et convient bien aux câbles ne permettant pas de placer des évents de points hauts.
Dans le cas des câbles horizontaux déviés, elle peut être combinée avec l'emploi du coulis thixotropé Freyssiflow TX pour obtenir un meilleur remplissage.
Elle permet également d'injecter des câbles en U depuis un ancrage supérieur sans craindre les effets de l'effondrement du front de coulis.

Réinjection des points hauts

Lorsque le risque de ressuage en points hauts du tracé des câbles est important, câbles fortement déviés voire verticaux, il convient de réinjecter ces points hauts pour purger le coulis pauvre. Le volume à purger est évalué au cas par cas sur la base de l'expérience acquise par Freyssinet.
Freyssinet a aussi développé des dispositions technologiques particulières dans les cas où il n'est pas possible de faire sortir un tube de réinjection du parement.



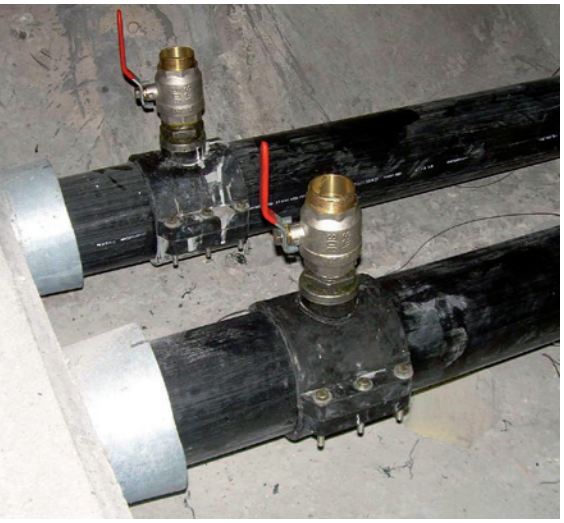
Capots d'injection

Injection des câbles en torons gainés protégés avant mise en tension

Les câbles constitués de torons gainés protégés placés dans un conduit doivent être injectés au coulis de ciment préalablement à leur mise en tension. Une fois durci, le coulis joue le rôle d'écarteur entre les torons et empêche l'écrasement des gaines individuelles en plastique aux niveaux des déviations du tracé. Cette technique, mise au point par Freyssinet, garantit l'intégrité de l'étanchéité de la gaine de chaque toron et leur bon coulissement lors de l'opération de mise en tension.

Afin de réduire les pertes de charges hydrauliques aux points d'injection, Freyssinet a développé des connecteurs de gaine permettant d'injecter le produit de protection en arrière du bloc d'ancrage au travers d'un tube de grand diamètre.
Cette disposition est bien adaptée aux câbles verticaux de grande hauteur. Elle facilite également les éventuelles opérations de réinjection des têtes d'ancrages.

Capot permanent en plastique



Port d'injection sur conduit PEHD

Capots permanents

Les ancrages de précontrainte sont protégés, soit par un cachetage en béton si l'ancrage a été placé dans une niche, soit par un capot permanent lorsqu'ils doivent rester accessibles pour permettre des interventions ultérieures. Les capots permanents sont utilisés également pour l'injection des conduits. Ils peuvent être en fonte (galvanisée ou peinte en option) ou en plastique.

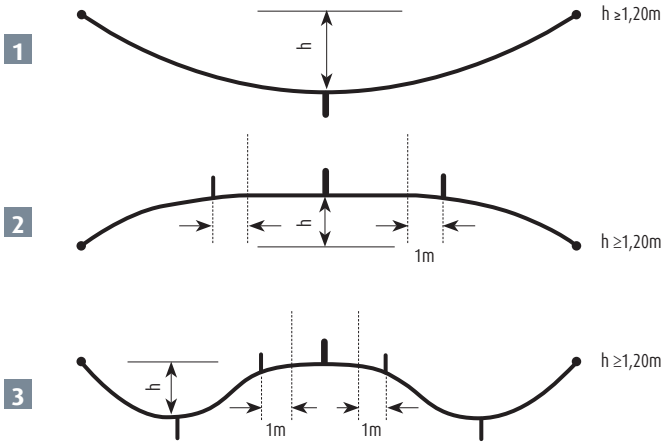
Évents et purges

Les schémas ci-dessous indiquent pour des tracés de câbles relativement simples, les positions des évents et des tubes d'injection.

Figure 1 Pour des tracés paraboliques en U présentant un dénivelé supérieur à 1,2 m, le point bas est muni d'un tube d'injection.

Figure 2 Pour des tracés paraboliques en U inversé présentant un dénivelé supérieur à 1,2 m, le point haut est muni d'un évent et deux tubes déportés. Lors de la réinjection du point haut, l'un d'entre eux sert de tube d'injection alors que l'autre sert de purge.

Figure 3 Les câbles horizontaux présentant deux ondulations en U séparées par une partie droite, et un dénivelé de plus de 1,2m, doivent être injectés depuis l'un des points bas y compris la partie droite, puis réinjectés depuis l'autre point bas en purgeant la partie horizontale.



Pour des tracés plus complexes, prendre conseil auprès des services techniques de Freyssinet.

Amériques
Argentine
Brésil
Canada
Chili
Colombie
États-Unis
Guyane Française
Mexique
Panama
Pérou
Salvador
Venezuela

Europe
Belgique
Bulgarie
Chypre
Danemark
Espagne
Estonie
France
Hongrie
Irlande
Islande
Italie
Lettonie
Lituanie
Luxembourg
Macédoine
Norvège
Pays-Bas
Pologne
Portugal
République Tchèque
Roumanie
Royaume-Uni
Russie
Serbie
Slovénie
Suède
Suisse
Turquie

Afrique et Moyen-Orient
Afrique du Sud
Algérie
Arabie Saoudite
Égypte
Émirats Arabes Unis
Jordanie
Koweit
Maroc
Oman
Qatar
Tunisie

Asie
Hong Kong
Inde
Indonésie
Japon
Macao
Malaisie
Myanmar
Pakistan
Philippines
Singapour
Corée du Sud
Taïwan
Thaïlande
Vietnam

Océanie
Australie
Nouvelle Zélande

FREYSSINET
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

www.freyssinet.com

© 2014 Soletanche Freyssinet - Les textes, photos et autres informations contenus dans le présent catalogue sont la propriété du Groupe Soletanche Freyssinet.
Toute reproduction, représentation ou autre usage sans le consentement préalable de Soletanche Freyssinet est illicite. Plyduct® et Liaseal® sont des marques déposées par la société Freyssinet.
Soletanche Freyssinet encourage l'utilisation des pâtes à papier issues de la gestion durable des forêts. Le papier de ce catalogue a été certifié selon les règles très strictes du programme de reconnaissance des certifications forestières PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification). - Édition : 09/2014 - C III 1 - Imprimé en France