

# **Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art**

Annexe A-7

Evolution des procédés et armatures de précontrainte





### Rédaction

Daniel POINEAU

Ex-Sétra

Jean-Michel LACOMBE

Cerema Infrastructures de transport et matériaux

Laurent LABOURIE

Cerema Nord Picardie

### Relecteurs

Jean-Michel LACOMBE

Cerema Infrastructures de transport et matériaux

Jean-Christophe CARLES

Cerema Méditerranée



# Préambule

Ce document constitue une annexe électronique au guide Cerema de 2015

« Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ».



# Sommaire

Préambule .....	3
Sommaire .....	4
Introduction.....	6
1 - Les débuts de la précontrainte .....	8
2 - Période de 1940 à 1945 .....	8
3 - Période de 1946 à 1952 .....	9
3.1 - <i>L'évolution des armatures, des procédés de précontrainte</i> .....	9
3.2 - <i>Les problèmes rencontrés durant cette période</i> .....	10
4 - Période de 1953 à 1960 : (parution des 1 <sup>ères</sup> règles de calcul des ponts) .....	11
4.1 - <i>Les débuts de la réglementation</i> .....	11
4.2 - <i>L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte</i> : .....	11
4.3 - <i>L'évolution des procédés de précontrainte</i> .....	11
4.4 - <i>Conclusions</i> .....	12
5 - Période de 1960 à 1970 (début des procédures d'agrément des armatures et des procédés de précontrainte) .....	12
5.1 - <i>L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte</i> .....	12
5.2 - <i>L'évolution des procédés de précontrainte</i> .....	13
6 - Période de 1971 à 1983 (parution d'un nouveau titre II du fascicule 4 du CPC).....	18
6.1 - <i>Généralités</i> .....	18
6.2 - <i>L'évolution des procédés de précontrainte et des dispositions constructives</i> .....	21
6.3 - <i>Les problèmes rencontrés durant cette période</i> .....	22
6.4 - <i>Conclusions</i> .....	22
7 - Période de 1983 à nos jours .....	23
7.1 - <i>Généralités</i> .....	23
7.2 - <i>L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte</i> .....	23



Page laissée blanche intentionnellement





## Introduction

La connaissance de l'évolution des caractéristiques des armatures de précontrainte seule ne permet pas d'aborder le recalcul d'une structure précontrainte, il faut lui associer les règles de calcul, les circulaires nombreuses et diverses et le procédé de précontrainte utilisé. Ce dernier a en effet, une influence sur la tension de l'armature car il y a encore peu d'années, les pertes par rentrée de l'ancrage ou l'effort admissible à la mise en tension sous l'ancrage différaient souvent nettement d'un procédé de précontrainte à l'autre.

Le lecteur est également invité à se reporter à l'annexe "Évolution de la technique de construction du béton précontraint" du guide technique "Viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP)" – LCPC (octobre 2001).



Page laissée blanche intentionnellement



## 1 - Les débuts de la précontrainte

Il est possible de considérer que les débuts industriels de la post-tension remontent à l'année 1939 qui vit la création, par Freyssinet, de l'ancrage par frottement conique et du vérin de mise en tension à double effet.

Les véritables débuts de la précontrainte sont cependant beaucoup plus anciens. Dès 1908, avant la construction des ponts de Veudre, Boutiron et Châtel-de-Neuvre sur l'Allier, Freyssinet avait fait édifier une arche expérimentale de 50 mètres de portée et de 2 mètres de flèche dont les culées étaient reliées par un tirant en "béton précontraint" de 250 tonnes de force utile.

Les premiers ponts en béton précontraint ont été construits quelques années avant la deuxième guerre mondiale (le pont sur l'Oued Fodda en Algérie en 1936 et le pont d'Oelle en Wesphalie en 1938).

*arche expérimentale de Moulins en 1933*



## 2 - Période de 1940 à 1945

Durant cette période de pénuries, seulement trois ponts en béton précontraint furent construits. Le procédé Freyssinet fut le seul utilisé.

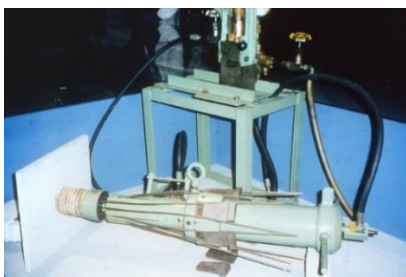
Les câbles étaient constitués de 12 fils de 5 mm de diamètre obtenus à partir de fils machine (corde à piano) de 8 mm de diamètre tréfilés et écrouis avec trempe au plomb :

- charge de rupture : 145 à 170 kgf/mm<sup>2</sup> ;
- limite élastique : 115 à 145 kgf/mm<sup>2</sup> ;
- allongement à rupture : 7 à 8 %.

Les câbles (12  $\varnothing$  5) étaient normalement tendus entre 110 et 115 kgf/mm<sup>2</sup> pour obtenir, après perte, une tension de l'ordre de 85 kgf/mm<sup>2</sup> soit une force utile de l'ordre de 20 tonnes.

Les mises en tension furent souvent difficiles à cause de frottements très supérieurs aux prévisions (utilisation de gaines métalliques avec des rayons de courbure trop faibles, remplacement des gaines par un guipage de papier bitumé, mise en place des câbles dans des encoches directement au contact du béton, etc.).

Certaines des dispositions constructives et certaines pratiques sur le chantier conduisirent par la suite à des corrosions de câbles.



*Système Freyssinet pour câbles de 12  $\varnothing$  5*



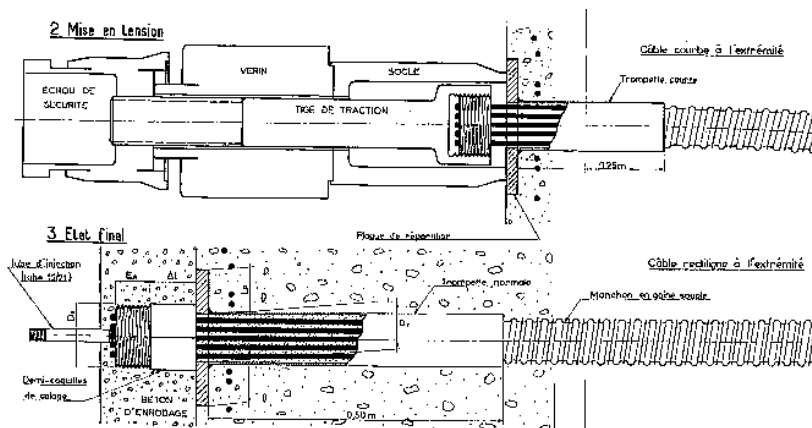
## 3 - Période de 1946 à 1952

(Absence de règles pour le calcul des ponts)

### 3.1 - L'évolution des armatures, des procédés de précontrainte

Durant cette période, il y a lieu de noter.

- l'amélioration des procédés existants :
  - le procédé de précontrainte Freyssinet s'est amélioré avec l'emploi du ressort central destiné à faciliter l'injection et le placement des fils dans les courbes et près des ancrages. La puissance des câbles a augmenté avec la fabrication entre 1949 et 1950 des premiers câbles 12  $\phi$  7 de 39,5 tonnes de force utile.
- l'apparition de nouveaux procédés de précontrainte :
  - le procédé Chalos-G.T.M. en 1947 basé sur une armature souple prétendue de 92 tonnes de tension initiale (110 kgf/mm<sup>2</sup>). Cette armature était constituée de 22 torons de 12 fils de 2 mm de diamètre. Elle s'appuyait sur une âme formée par des osselets métalliques articulés. Ce procédé a été utilisé pour la précontrainte de quelques ponts jusque vers les années 1954 (le pont d'Ondes sur la Garonne à 5 travées indépendantes construit en 1954),
  - le procédé B.B.R-B de l'entreprise Boussiron qui est une combinaison du procédé primitif de Boussiron avec mise en tension par torsion et du procédé suisse BBR-V. Ce procédé utilisait des fils parallèles de 7 mm de diamètre de la même nuance que ceux utilisés dans le procédé Freyssinet pour former des câbles de type 18  $\phi$  7 ou 30  $\phi$  7. Ensuite des fils de 8 mm seront utilisés. Le blocage des fils sur les têtes d'ancrage métalliques filetées était assuré par boutonnage. Des cales métalliques étaient interposées entre les plaques et les têtes d'ancrage pour compenser les allongements.



système de précontrainte BBR-B

Le tableau suivant récapitule les principaux procédés de précontraint de cette époque et leurs caractéristiques. Les valeurs sont issues des documents de cette période. Cependant, la tension des câbles d'un pont construit pendant ces années-là peuvent différer des valeurs du tableau.



<b>Procédé Freyssinet</b>		
Désignation	12φ5	12φ7
Section en mm <sup>2</sup>	235	462
Force sous ancrage à la mise en tension (tonnes) / Contrainte en kgf/mm <sup>2</sup>	33 / 140	65 / 140
Force utile en service (tonnes) / Contrainte (kgf/mm <sup>2</sup> )	20 / 85	39,5 / 85
<b>Procédé Chalos-GTM</b>		
Désignation	Armature souple prétendue	
Section en mm <sup>2</sup>	830 (ou 680)	
Force sous ancrage à la mise en tension (tonnes) / Contrainte (kgf/mm <sup>2</sup> )	92 / 110	
Force utile en service (tonnes) / Contrainte en kgf/mm <sup>2</sup>	NR	
<b>Procédé Boussiron</b>		
Désignation	18φ7	30φ7
Section en mm <sup>2</sup>	692	1154
Force sous ancrage à la mise en tension (tonnes) / Contrainte (kgf/mm <sup>2</sup> )	87 à 100 / 125 à 145	145 à 166 / 125 à 145
Force utile en service (tonnes) / Contrainte (kgf/mm <sup>2</sup> )	55 à 60 / 79 à 87	90 à 100 / 79 à 87

### 3.2 - Les problèmes rencontrés durant cette période

Les plus gros problèmes rencontrés, comme dans la période précédente, ont concerné la mise en tension des câbles :

- frottements excessifs, à cause du guipage ou de la mauvaise étanchéité des gaines en feuillard ou à cause du frottement direct sur le béton des encoches ;
- rupture de fils au voisinage des ancrages par chevauchement de fils et inégalité de tension, etc.

Il est à noter que les nombreux paquets de câbles présents dans les talons des poutres ont souvent gêné la mise en place du béton. Ce mauvais enrobage des conduits de précontrainte été à l'origine de la corrosion des armatures qui s'est manifestée dans certains ouvrages 20 à 30 ans après leur construction.

## 4 - Période de 1953 à 1960 : (parution des 1<sup>ères</sup> règles de calcul des ponts)

Cette période a été marquée par le début de la réglementation, le développement des méthodes de calcul, une nouvelle amélioration des caractéristiques des armatures de précontrainte, le développement des procédés de précontrainte et l'apparition de nouveaux procédés.

### 4.1 - Les débuts de la réglementation

C'est le 1<sup>er</sup> Octobre 1953 qu'apparaît le premier règlement français de béton précontraint, (Circulaire n°141 du Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme, instructions provisoires relatives à l'emploi du béton précontraint) qui visait essentiellement le béton totalement comprimé (compression minimale sur une fibre au moins égale à 8 % de la compression maximale) tout en laissant une ouverture vers les constructions partiellement précontraintes.

Cette recommandation a imposé l'utilisation de gaines métalliques étanches et résistantes en post-tension. Elle ne limitait pas la contrainte des armatures à la mise en tension. Elle imposait le calcul des pertes de précontrainte (pertes par relaxation égale à 10% de la tension initiale, coefficient de frottement en courbe  $f=0,4$  et rayon de courbure  $\geq 4$  m).

Malgré cette réglementation, de nombreuses notes de calculs de cette époque considéraient des pertes de précontrainte forfaitaires égales à 20 % de la tension initiale (tension finale de l'ordre de 85 kgf/mm<sup>2</sup>). Les recalculs actuels et les mesures de tensions (méthode dite de l'arbalète) effectuées sur certains ouvrages montrent que les pertes ont pu être ainsi sous estimées de 10 à 15 %.

### 4.2 - L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte :

Il n'y a pas encore de réglementation dans ce domaine, mais des progrès sont enregistrés sur la qualité des aciers de précontrainte.

En effet, les câbles tréfilés  $\phi 5$  utilisés après la guerre présentaient d'une part des pertes de résistance pouvant atteindre 20 à 25 % dans les zones de soudure des fils et, d'autre part, une relaxation importante de 10 à 11 %.

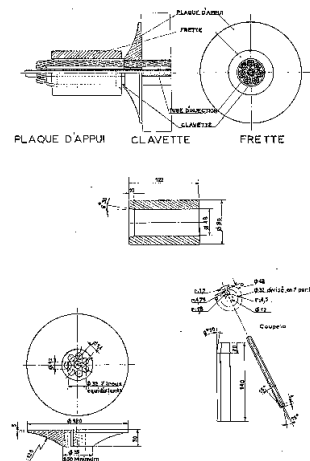
Les fabricants français élaborèrent de nouveaux fils, en 1952 les fils laminés trempés au plomb et en 1954 des aciers laminés trempés à l'huile.

Les câbles toronnés apparurent dans le courant des années 1950.

### 4.3 - L'évolution des procédés de précontrainte

Durant la période 1953-1960 le procédé de précontrainte Freyssinet a continué à se diversifier avec la naissance des câbles 12  $\phi$  8 en 1955 et des câbles 12 T 13 (torons  $\phi$  12,4 mm) en 1960.

Le procédé Chalos fut remplacé par le procédé C.O2 de S.E.E.E. à partir de 1954-1955 (câbles toronnés constitués de 4 à 7 torons de 7 fils de 3,6 mm de 160 à 180 kgf/mm<sup>2</sup> de résistance à la rupture).



procédé SEEE C.02.

## 4.4 - Conclusions

L'ingénieur chargé du recalcul d'une structure en béton précontraint construite avant les années 1960 doit examiner avec attention le dossier de l'ouvrage, rechercher dans la littérature technique toutes les informations absentes du dossier et, le cas échéant, faire faire des investigations in situ pour confirmer les informations recueillies (mesure de la tension des armatures par la méthode « dite de l'arbalète », prélèvement d'armatures pour essais d'identification, etc.).

## 5 - Période de 1960 à 1970 (début des procédures d'agrément des armatures et des procédés de précontrainte)

### 5.1 - L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte

L'année 1960 vit d'une part, la parution du premier titre II du fascicule 4 du Cahier des Prescriptions Communes (C.P.C.) fixant les dispositions que devaient satisfaire les fils d'acier ronds des armatures de précontrainte non toronnées et d'autre part, la création de la commission ministérielle (Ministère des Travaux Publics et des Transports) d'agrément des armatures de précontrainte.

Le titre II du fascicule 4 n'imposait aucune spécification. Il ne traitait que des conditions de recette et de conduite des essais des lots d'armatures soumis à la procédure d'agrément.

La première liste d'agrément des fils d'acier ronds pour armatures de précontrainte parut le 1er Octobre 1963 (circulaire n°80) et la dernière de cette série le 28 Avril 1970 (circulaire n°70-53).

Pour résumer, au milieu des années 1950, la panoplie des fils de précontrainte était composée comme suit :

- fils patentés, tréfilés, vieillis ;
- fils laminés avec trempe bainitique avec ou sans étirage ;
- fils laminés, trempés à l'huile et revenus.

Remarque : Le LRPC de Lille possède de nombreux résultats d'essais de mesure de la tension des câbles effectués sur des ponts construits à cette époque.

Le tableau ci-dessous montre à partir des quelques extraits des fiches d'agrément, l'évolution des caractéristiques des armatures de précontrainte entre 1963 et 1970.

Circulaire	N°80 du 1/10/63	N°80 du 1/10/63	N°68 du 27/12/65	N°36 du 14/6/67	N°36 du 14/6/67	N°70-53 du 28/4/70
Usine	Bourg	Tréfinmétaux	Bekaert	Sainte-Colombe	Providence	Arbed
Appellation	B 8-1	TH 7-1	7 BLS	7 ES	7 CFR 11	FG 8
Traitement acier	écroui vieilli	écroui vieilli	stress relieved	Patenté tréfilé stabilisé	Tréfilé et revenu	Patenté tréfilé revenu
Diamètre en mm	8	7	7	7	7	8
R <sub>G</sub> en hectobars	153	152	167	157	163	162
T <sub>G</sub> en hectobars	131	132	147	137	145	142
A <sub>G</sub> en %	1,5	2,5	2,5	1,5	2	2
ρ <sub>G</sub> à 120 h en %	6	NR	7	NR	2	6
ρ <sub>G</sub> à 1000 h en %	8	10	10	4	3	8

Pour les câbles toronnés, en l'absence de toute spécification ministérielle, les cahiers des charges avaient recours à la nomenclature du catalogue de l'Association Scientifique de la Précontrainte ou ASP (se reporter à la note technique C13 n°1 de Mai 1964 du SCET).

Il est à noter que les spécifications techniques de l'ASP sont parues dans les annales de l'ITBTP n° 174 de Juin 1962, n°186 de Juin 1963 et n°204 de Décembre 1964).

L'arrêté du 26 Avril 1965 a rattaché au Ministère des Travaux Publics et des Transports la Commission Permanente d'Agrément des qualités de fils d'acier pour précontrainte.

Les modalités de la vérification et du contrôle en usine, ont été traitées par la circulaire n°70-69 du 22 Juillet 1970.

## 5.2 - L'évolution des procédés de précontrainte

L'arrêté ministériel du 21 avril 1965 mis en place une procédure d'agrément des procédés de précontrainte et des dispositifs d'ancrage qui fut rattachée à la Commission permanente du béton précontraint qui deviendra quelques années plus tard la Commission Interministérielle de la Précontrainte (la CIP).



*Cône Freyssinet en mortier au carborandum*

Rapidement les principaux procédés ont bénéficié d'un agrément d'une durée limitée en général à 10 ans, dont la liste pour la période 1966-1970 figure dans le tableau ci-dessous :



Circulaires	Date	Procédé de précontrainte
81	27 décembre 1966	Procédé Freyssinet (1φ8, 12φ7, 12T13 et 12T15)
82	28 décembre 1966	Procédé S.E.E.E. (Ancrages filés type F : F.02, F.13, F.14, F.04, F.16, F.13P et F.14P - Ancrages filés type C : C.02, C.02P, C.03 et C.03P) pour une durée de 10 ans
83	29 décembre 1966	Procédés B.B.R.B. et B.B.R.V. (54φ7, 30φ7, 22φ7, 18φ7, 14φ7, 9φ7, 1φ7 et 1φ8) pour une durée de 10 ans
84	30 décembre 1966	Procédé P.C.B. (30φ5 et 61φ5) pour une durée de 2 ans
32	11 mai 1967	Procédé K.A. (KA2, KA4... à KA40) pour une durée de 10 ans
8	19 février 1968	procédé S.E.E.E. (F.19500P) pour 10 ans
9	2 février 1968	Procédé S.E.E.E. (F.1500 à F.49500) pour 10 ans
30	24 Juin 1968,	Procédé Diwidag pour 10 ans ;
31	25 Juin 1968	Procédé Cibarre pour 3 ans
69-34	17 mars 1969	Procédé Léoba (AK1 à AK12) pour 10 ans + 2 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1 Janvier 1986
69-37	20 mars 1969	Procédé Coignet (12φ7 et 12φ8) pour 5 ans
69-48	14 avril 1969	Circulaire prorogeant provisoirement les agréments visés par les circulaires n°81 à 69-37 ci-avant
69-85	31 juillet 1969	Procédé P.C.B. (61φ3, 37φ4,1, 61φ4,1 et 61φ5) pour 5 ans
69-89	5 août 1969	Modificatif applicable aux circulaires n°82 et 9
70-41	17 mars 1970	Procédé Freyssinet (1φ8, 12φ5, 12φ7, 12φ8, 12T13 et 12T15) pour 10 ans
70-64	23 juin 1970	Procédé P.C.B.-C.A.B.-C.O. (1T0.5" et 1T0.6") pour 5 ans
70-76	30 Juillet 1970	Procédé Diwidag (barres φ15,1, 26,5 et 32,6) pour 10 ans
70-78	31 Juillet 1970	modifiant la circulaire n°69-85 (Procédé P.C.B.)

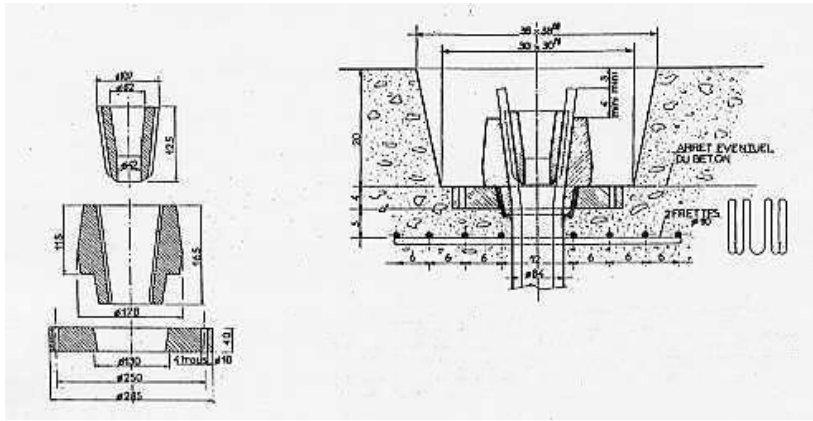
Le tableau ci-après donne les principales caractéristiques de quelques procédés de précontrainte.



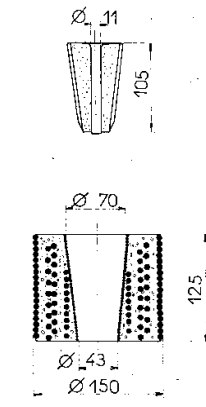
<b>Circulaire n° 81 du 27 décembre 1966</b>		
Procédé Freyssinet	12φ8	12T13
Section en mm <sup>2</sup>	603	1130
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	78,5 / 130	164 / 145
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	90 / 150	190 / 170
Coefficients de frottement f et φ pour des câbles fabriqués sur chantier non huilés (* fils laminés traités) et (** fils tréfilés)	(* ) 0,25 et 0,0027 (** ) 0,22 et 0,0024	0,21 et 0,0020
<b>Circulaire n° 82 du 28 décembre 1966</b>		
Procédé GTM à ancrage filé type F	F 02	F 16
Section en mm <sup>2</sup>	298	1488
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	48,1/161,5	235,1/157
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	55,8/188	274,3/184,5
Relaxation à 120 h et 1000 h	6,5 et 9 %	6,5 et 9 %
Coefficients de frottement f et φ des câbles graissés à + ou - 25% (* gaine rigide) et (** gaine souple plombée ou galvanisée)	(* ) 0,10 et 0,0020 (** ) 0,15 et 0,0014	(* ) 0,10 et 0,0020 (** ) 0,15 et 0,0014
<b>Circulaire n° 82 du 28 décembre 1966</b>		
Procédé GTM à ancrage à clavettes type C	C.02	C.03
Section en mm <sup>2</sup>	500	730
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	80,9/162	107,9/148
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	94,2/188	125,5/172
Relaxation à 120h et 1000h	6,5 et 9 %	6,5 et 9 %
Coefficients de frottement f et φ des câbles graissés à + ou - 25% (* gaine rigide) et (** gaine souple plombée ou galvanisée)	(* ) 0,10 et 0,0020 (** ) 0,15 et 0,0014	(* ) 0,10 et 0,0020 (** ) 0,15 et 0,0014
<b>Circulaire n° 83 du 29 décembre 1966</b>		
Procédé BBR-B et BBR-V	22φ7	54φ7
Section en mm <sup>2</sup>	847	2079
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	123 / 145	301 / 145
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	146 / 172	358 / 172
Coefficients de frottement f et φ non huilée et gaines plombées	0,19 et 0,0015	0,18 et 0,0015
<b>Circulaire n° 84 du 30 décembre 1966</b>		
Procédé PCB - Câbles à bosses	37φ5	61φ5
Section en mm <sup>2</sup>	726	1198
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte(hectobars)	96 / 132,2	157,8 /131,7
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	106,8 / 147,1	175,4 / 146,4
Coefficients de frottement f et φ non huilée	0,17 et 0,0016	0,17 et 0,0016
<b>Circulaire n° 32 du 11 mai 19671</b>		
Procédé KA Interspan France	KA 28	KA 40
Section en mm <sup>2</sup>	1086,4	1552
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	146,66 / 135	209,52 /135
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	167,31 / 154	239,01 / 154
Coefficients de frottement f et φ non huilée	0,24 et 0,00168	0,24 et 0,00168



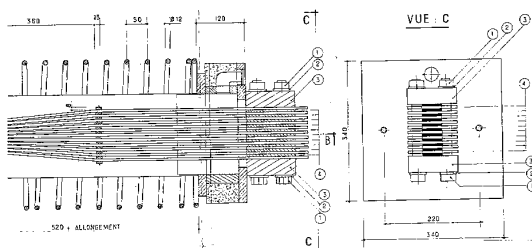
Circulaire n° 70-76 du 30 juillet 1970		
Procédé Dywidag - Barres $\phi$ 15,1-32,6 (et $\phi$ 26,5)	$\phi$ 15,1	$\phi$ 32,6
Section en mm <sup>2</sup>	179,1	835
Force sous ancrage à la mise en tension (KN) / Contrainte (hectobars)	14,1 / 79,4	59 / 70,6
Force de rupture (KN) / Contrainte (hectobars)	19,3 / 107,8	83,5 / 100
Coefficients de frottement $\varphi$ (cas barre rectiligne suivant l'espacement des supports)	0,0122 à 0,0174	0,005 à 0,0087



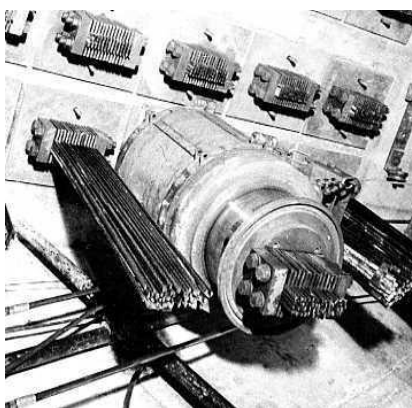
ancrage Freyssinet 12T15



cônes mâle et femelle 12 fils de 8 mm



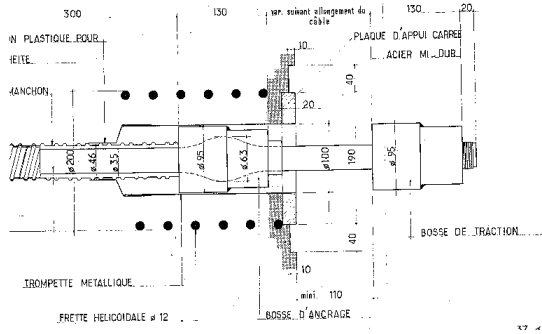
procédé de précontrainte KA



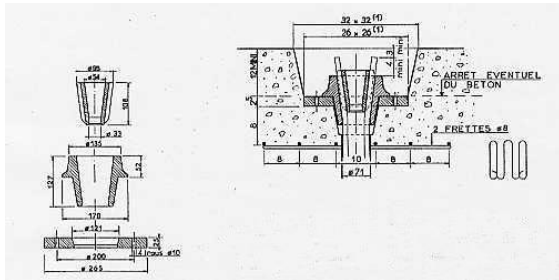
mise en tension d'un câble KA

<sup>1</sup> Ce procédé de précontraint utilisait des fils crantés de section ovale en acier laminé (la section des fils passa rapidement à 40 mm<sup>2</sup>). Les coefficients de frottement en cas de déviation horizontale étaient sous-estimés. De plus ces aciers se sont révélés très sensibles à la corrosion sous tension.

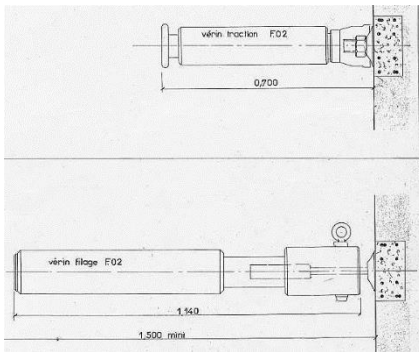




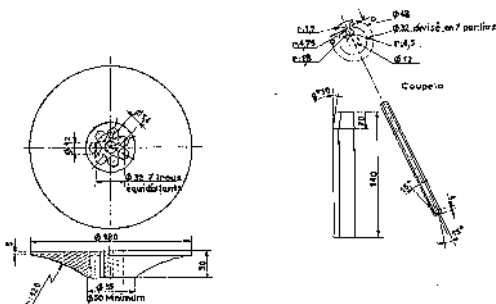
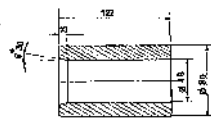
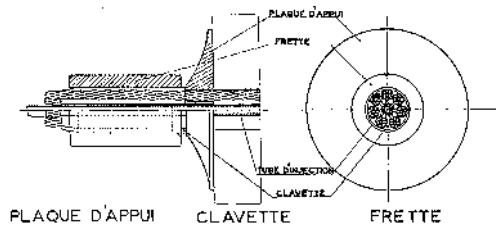
Procédé PCB (câble à bosses)



Ancre STUP de type 12T13



Procédé SEE GTM mise en tension et filage



Procédé SEE GTM à ancrages filés



*Remarques : Lors d'un recalcul, il faut souvent majorer les valeurs des coefficients de frottements qui étaient souvent quelque peu sous estimées (prendre par exemple les valeurs des coefficients de frottement donnés par le BPEL).*

A noter dans ces agréments la référence aux gaines plombées qui peuvent être à l'origine de corrosions bimétalliques.

## 6 - Période de 1971 à 1983 (parution d'un nouveau titre II du fascicule 4 du CPC)

### 6.1 - Généralités

La circulaire n°71-23 du 5 mars 1971 annula la circulaire n°68 du 1er Septembre 1960 et introduisit le nouveau titre II du fascicule 4 du C.P.C. approuvé par l'arrêté du 5 Mars 1971 du Ministre de l'Équipement et du Logement.

Ce nouveau fascicule était applicable à tous les types d'armatures : fils ronds et lisses, aux fils non ronds et/ou non lisses, aux barres lisses ou non, aux torons et aux câbles toronnés ou torsadés en acier. Il introduisit un certain nombre de modifications et de compléments par rapport au précédent fascicule à savoir :

- 4 classes pour les fils ronds et lisses et 3 classes pour les autres armatures. Les classes étaient pour la première fois assorties de valeurs spécifiées pour  $R_g$ ,  $T_g$   $A_g$  ;
- l'introduction de la notion de probabilité pour la définition des caractères garantis (géométriques, mécaniques, et technologiques) c'est à dire pas plus de 5% de résultats en dessous de la valeur spécifiée ;
- l'introduction de 3 classes de relaxation, relaxation normale (R.N.), basse relaxation (B.R.) et très basse relaxation (T.B.R.) ;
- la mesure de la relaxation sur une éprouvette tendue à 0,7  $R_g$  de la charge de rupture à 1000h à 2000h et à 3000h pour les BR et T.B.R. (précédemment à 0,8 $R_g$  et mesurée à 120h et 1000h) ;
- la résistance à la fatigue par traction ondulée ;
- la résistance à la corrosion sous tension ;
- l'aptitude au boutonnage ;
- l'adhérence au béton (cas des armatures pour pré-tension) ;
- l'agrément des usines de façonnage d'unités de précontrainte (armatures, plus gaines, plus ancrages) prêtes à l'emploi ;
- le contrôle en usine par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à la place des essais de réception prévus par l'ancien fascicule ;
- la possibilité, à titre exceptionnel, d'utiliser des armatures non agréées après autorisation du Ministre de l'Équipement et du Logement.

Les anciens agréments furent prorogés jusqu'au 5 Mars 1973 et furent remis en ordre par les 5 circulaires d'agrément parues entre le 27 Avril 1972 (n°72-63) et le 15 Mai 1973 (n°73-89).

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques spécifiées pour des fils  $\phi 7$  et des torons T13 et T15 (il n'y avait pas de valeurs spécifiées pour les barres).

<b>Classe fil rond <math>\phi 8</math> <math>A_p = 50,2 \text{ mm}^2</math></b>					
Relaxation en % à 1000 et 3000h	Caractères garantis	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
TBR 2 / 2,5	$T_G$ (hbar)	125,5	139,3	145,1	150
BR 4 / 5	$R_g$ (hbar)	140,2	155,9	162,8	167,7
RN 8 / NR	$A_g$ (%)	3	3	3	3
<b>Classe torons T13 7 fils <math>\phi 12,4</math> <math>A_p = 93 \text{ mm}^2</math></b>					
Relaxation en % à 1000 et 3000h	Caractères garantis	Classe I	Classe II	Classe III	Pas de classe IV
TBR 2,5 / 3	$T_G$ (hbar)	13,73	14,71	NR	Sans objet
BR 5 / 6	$R_g$ (hbar)	15,99	16,67	NR	Sans objet
RN 9 / NR	$A_g$ (%)	3	3	NR	Sans objet
<b>Classe torons T15 7 fils <math>\phi 15,2</math> <math>A_p = 139 \text{ mm}^2</math></b>					
Relaxation en % à 1000 et 3000h	Caractères garantis	Classe I	Classe II	Classe III	Pas de classe IV
TBR 2,5 / 3	$T_G$ (hbar)	19,62	21,58	22,56	Sans objet
BR 5 / 6	$R_g$ (hbar)	22,56	24,23	25,21	Sans objet
RN 9 / NR	$A_g$ (%)	3	3	3	Sans objet

*Remarque : Il est à noter que les sections des torons T13 et T 15 correspondent à celles des torons normaux actuels.*

Le titre II fascicule n°4 du C.P.C. du 5 Mars 1971 (applicable aux seuls marchés du Ministère de l'Équipement et du Logement) fut remplacé par, un nouveau titre II du fascicule n°4 du C.C.T.G. (applicable pour tous les marchés de travaux de l'État c'est à dire à tous les ministères) qui fut rendu obligatoire par le décret n°73-439 du 26 Mars 1973 du Premier Ministre et la circulaire n°73-175 du 4 Octobre 1973 du Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Équipement du Logement et du Tourisme et du Ministère des Transports. Ce nouveau titre II était peu différent du précédent. Il y a lieu cependant de noter, la suppression de la classe IV pour les fils ronds et lisses et l'utilisation des termes suivants :

- l'autorisation de fourniture pour une durée déterminée accordée à un producteur par le Président de la Commission Interministérielle d'agrément pour les armatures en voie d'agrément ;
- l'autorisation d'emploi accordée à titre exceptionnel par le même Président pour un chantier donné sur demande du maître d'œuvre pour des armatures non agréées ;
- de très légères différences dans les tableaux donnant les caractéristiques des différentes armatures.

Ce nouveau titre II du fascicule 4 comportait également en annexes (III, IV et V) l'arrêté du 26 Mars 1973 (J.O. du 19 Avril 1973), relatif à la Commission Interministérielle et au règlement d'agrément des armatures en acier à haute résistance pour construction en béton précontraint par pré ou post-tension.

Le tableau suivant donne les caractères spécifiés des fils et torons (il n'y avait pas de valeurs spécifiées pour les barres).



<b>Classe fils ronds et lisses <math>\phi 7\text{mm}</math> <math>A_p = 38,48 \text{ mm}^2</math></b>				
Caractères garantis		Classe I	Classe II	Classe III
$T_G$ (N/mm <sup>2</sup> )		1255	1393	1500
$R_g$ (N/mm <sup>2</sup> )		1402	1559	1677
Ag (%)		3	3	3
Relaxation à 1000 h / 3000 h en %	TBR	2 / 2,5	2 / 2,5	2 / 2,5
	BR	4 / 5	NR	NR
	RN	8 / NR	8 / NR	8 / NR
<b>Classe fils ronds et lisses <math>\phi 8\text{mm}</math> <math>A_p = 50,26 \text{ mm}^2</math></b>				
Caractères garantis		Classe I	Classe II	Classe III
$T_G$ (N/mm <sup>2</sup> )		1255	1393	1470
$R_g$ (N/mm <sup>2</sup> )		1402	1559	1657
Ag (%)		3	3	3
Relaxation à 1000 h / 3000 h en %	TBR	2 / 2,5	2 / 2,5	2 / 2,5
	BR	4 / 5	NR	NR
	RN	8 / NR	8 / NR	8 / NR
<b>Classe torons T 13 7fils <math>\phi 12,4</math> <math>A_p = 93 \text{ mm}^2</math></b>				
Caractères garantis		Classe I	Classe II	Classe III
$T_G$ (N/mm <sup>2</sup> )		1476	1582	1656
$R_g$ (N/mm <sup>2</sup> )		1719	1792	1867
Ag (%)		3	3	3
Relaxation à 1000 h / 3000 h en %	TBR	2,5 / 3	2,5 / 3	2,5 / 3
	BR	5 / 6	5 / 6	5 / 6
	RN	9 / NR	9 / NR	9 / NR
<b>Classe torons T 15 7fils <math>\phi 15,2</math> <math>A_p = 139 \text{ mm}^2</math></b>				
Caractères garantis		Classe I	Classe II	Classe III
$T_G$ (N/mm <sup>2</sup> )		1411	1552	1623
$R_g$ (N/mm <sup>2</sup> )		1623	1743	1814
Ag (%)		3	3	3
Relaxation à 1000 h / 3000 h en %	TBR	2,5 / 3	2,5 / 3	2,5 / 3
	BR	5 / 6	5 / 6	5 / 6
	RN	9 / NR	9 / NR	9 / NR

En application de ces nouveaux textes, tous les agréments des armatures furent annulés par la circulaire 73-219 du 19 Décembre 1973.

Cinq nouvelles circulaires d'agrément des armatures virent le jour entre le 19 Décembre 1973 (n°73-219) et le 30 Juillet 1974 (n° 74-131).

La circulaire 74-197 du 28 Novembre 1974 introduisit la notion d'agrément avec ou sans réserves (listes A et B d'agrément). Était prise en compte la résistance à la fragilisation par l'hydrogène et à la corrosion fissurante sous contrainte. Seuls les fils en acier légèrement allié et durci par trempe à l'huile et revenu ainsi que les torons composés de fils en acier, non allié, durci par tréfilage de faible diamètre ( $\leq 3\text{mm}$ ) faisaient partie de la liste B.

A la suite de cette circulaire d'agrément des armatures, huit autres furent signées entre le 16 Juillet 1975 (n° 75-103) et le 1er Décembre 1978 (n°78-153).

Entre temps, la circulaire (n°77-08) du 13 Janvier 1977, complétée par des annexes publiées par le L.C.P.C., (chargé du secrétariat de la commission interministérielle d'agrément), mis à jour le règlement d'agrément datant de 1973 (en particulier toute la partie technique concernant les contrôles et leur interprétation a été supprimée).

Le 25 Septembre 1979, la circulaire n°79-89 remplaça la notion d'agrément avec ou sans réserve par la notion d'agrément, avec ou sans limitation d'emploi. Elle comportait une liste d'armatures agréées avec et sans limitation d'emploi. Elle fût complétée entre le 17 Avril 1980 (n° 80-56) et le 7 Avril 1982 (n° 82-32) par trois autres circulaires.

Attention, le recours aux torons supers à la place des torons normaux conformes au titre II du fascicule 4 de 1973 fut autorisé par la circulaire C.T.O.A. 1732 du 9 Juillet 1980 pour permettre de compenser la réduction de tension initiale qu'elle imposait.

Torons T13 :	{	standarts	$\phi = 12,4\text{mm}$	$A_p = 93\text{mm}^2$
	}	supers	$\phi = 12,7\text{mm}$	$A_p = 100\text{mm}^2$
Torons T15 :	{	Standarts	$\phi = 15,2\text{m}$	$A_p = 139\text{mm}^2$
	}	Supers	$\phi = 15,7\text{m}$	$A_p = 150\text{mm}^2$

Les torons supers se généralisèrent ensuite tout en continuant de cohabiter avec les torons normaux.

## 6.2 - L'évolution des procédés de précontrainte et des dispositions constructives

L'arrêté du 20 Avril 1965 du Ministre des Travaux Publics et des Transports institua une Commission Permanente du Béton Précontraint chargée d'instruire les demandes d'agrément des procédés de précontrainte et des dispositifs d'ancrage des armatures de précontrainte. A partir de cette date, l'administration a donc commencé à encadrer les détenteurs de procédés de précontrainte qui avaient bénéficiés jusqu'alors d'une large liberté créative.

Le tableau ci-dessous donne la liste des procédés qui furent agréés entre 1970 et 1983.

Circulaire	Date	Procédé de précontrainte
71-46	3 mai 1971	Procédés B.B.R.B. et B.B.R.V. (9 $\phi$ 7 à 54 $\phi$ 7 ainsi que 1 $\phi$ 7, 1 $\phi$ 8 et 1 $\phi$ 12) pour 10 ans
71-47	3 mai 1971	Procédé, V.S.L. (5.1 à 5.55) pour 5 ans
72-161	12 Octobre 1972	Procédé P.C.B. (coupleur 61.Ø5), modification de la circulaire n°69-85
72-162	12 octobre 1972	procédé P.C.B.-C.A.B.- C.O. (3T0.5", 4T0.5", 7T0.5" et 4T0.6" et 7T0.6") pour 5 ans . Annexes à la circulaire n°70-64



Circulaire	Date	Procédé de précontrainte
73-128	4 juillet 1973	Procédé S.E.E.E. (FU.1500 à 20600) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er janvier 1986
73-135	9 septembre 1975	Procédé C.C.L. multiforce détenu par P.C.B. (14T13 à 31T13 et 4T15 à 19T15) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1986
75-177	4 décembre 1975	Procédé B.B.R.B. et B.B.R.V. (9φ7 à 84φ7) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1986
77-43	18 mars 1977	Procédé Freyssinet (1 φ8, 1φ12, 1 T15, 2 T15, 12φ5, 12φ7, 12φ8, 6 T13, 12 T13 et 12 T15) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1986
78-91	27 juin 1978	Procédé Freyssinet monogroupe (19T15, 27T13, 37T15 et 55T13) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°82-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1986
78-92	27 juin 1978	Procédé V.S.L. (unités 5-n avec $1 \leq n \leq 55$ et 6-n avec $1 \leq n \leq 37$ et différents ancrages) pour 10 ans, prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1987
81-31	10 avril 1981	Procédé P.A.C. (1 à 12 T13 ou T15) pour 10 ans
81-65	4 août 1981	Procédé L.H. (2T15 à 12T15), prorogée par la circulaire n°84-22 du 30 Mars 1984 au 1er Janvier 1987

### 6.3 - Les problèmes rencontrés durant cette période

Durant la période 1970-1983, outre les problèmes de corrosion des armatures de précontrainte déjà rencontrés précédemment, il y a eu des fissurations diverses traduisant des insuffisances de résistance des ponts. Les ponts touchés étaient tous des ouvrages construits par phases successives (ponts poussés, ponts construits par encorbellements successifs, etc.). Les expertises ont montré la sous-estimation voire la non prise en compte des effets des déformations différées gênées, la non prise en compte des gradients thermiques, la mauvaise estimation de la diffusion des efforts concentrés au droit des ancrages des câbles de précontrainte, etc. Les règles à appliquer ont été développées dans la circulaire de la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement en date du 2 avril 1975.

### 6.4 - Conclusions

La période 1970-1983 ayant été très fertile en modifications diverses et variées (règles de calcul, des qualités des armatures, des procédés de précontrainte, etc.). L'ingénieur chargé du recalcul d'un pont de cette période doit être extrêmement prudent et procéder à une validation systématique des données du dossier de l'ouvrage.



## 7 - Période de 1983 à nos jours

### 7.1 - Généralités

Cette période s'est caractérisée par la généralisation des règlements de calculs aux états-limites. L'introduction de "l'Assurance de la Qualité" et le développement de la normalisation (française et européenne) ont provoqué une nette évolution des règles relatives à l'exécution des structures.

Le développement de la "précontrainte extérieure" a eu une incidence forte sur l'évolution des procédés de précontrainte, nettement moins sur l'évolution des armatures de précontrainte.

### 7.2 - L'évolution de la qualité des armatures de précontrainte

Le titre II du fascicule 4 du C.C.T.G. de 1973 fut remplacé par un nouveau fascicule par le décret n°83-251 du 29 Mars 1983 concernant les fils tréfilés à froid, les fils trempés et revenus, les barres et les torons, (fascicule spécial n°83-14, quater). Ce nouveau texte a été mis en harmonie avec l'Euronorme n°138-79 de Septembre 1979 presque sur tous les points ;

- Les classes de résistances définies par ordre numérique ont été remplacées par la valeur spécifiée de la résistance à la traction ;

**Exemple :** La désignation T 12.5 1860 TBR correspond à un toron normal de 12,5 mm de diamètre ( $A_p = 93 \text{ mm}^2$ ) de classe 1860 MPa et à très basse relaxation.

- Il est à noter que les torons "super" ont été intégrés au fascicule (12,9 de  $100 \text{ mm}^2$  et 15,7 de  $150 \text{ mm}^2$ ).
- Parmi les autres modifications il y a lieu de signaler le remplacement de l'agrément et contrôle en usine par l'homologation avec contrôle délivré par le Ministère de l'Équipement sur proposition de la commission interministérielle de la précontrainte dite C.I.P. (le principe des autorisations de fourniture et des autorisations d'emploi a été conservé).
- A ce fascicule ont été annexés :
  - le décret n°83-252 du 19 Mars 1983 relative aux procédures d'homologation ou d'agrément techniques applicables aux marchés publics de travaux (procédures interministérielles),
  - l'arrêté du 29 Mars 1983 relatif à la C.I.P. ,
  - l'arrêté du 30 Mars 1983 approuvant le règlement de l'homologation et du contrôle des armatures de précontrainte.

A ces documents s'est ajouté l'arrêté du 30 Mars 1984 approuvant le règlement de l'agrément et du contrôle des procédés de précontrainte et dispositifs d'ancrage.

A la suite de ce nouveau titre II du fascicule 4 sont parues des circulaires d'homologation d'armatures précontrainte :

- la circulaire n°84-23 du 30 Mars 1984 ;
- la circulaire n°84-41 du 27 Juin 1984 ;
- la circulaire n°86-64 du 4 Septembre 1986 (elle comporte en outre des compléments à la réglementation sur les procédés et les armatures).

Compte tenu du développement des armatures gainées protégées, un règlement de l'homologation et du contrôle a été mis en place par l'arrêté du 20 Avril 1988 (texte officiel n°82-6).

Le texte officiel n°89-6 a rassemblé et mis à jour sous le titre "les procédés de précontrainte-réglementation et emploi" tous les textes existants ayant trait à la réglementation des armatures et des procédés de précontrainte (aucune incidence sur les homologations et agréments existants).



La circulaire n°89-26 du 17 Avril 1989 (placée à la fin de la circulaire) a approuvé tous les textes cités ci-après et abrogé les textes anciens. Cette circulaire a précisé également :

- d'une part, les conditions d'utilisation des armatures gainées protégées ;
- d'autre part, les dérogations au fascicule 65 A concernant les coulis d'injection (sont distingués les coulis courants ordinaires, les coulis courants à durée d'injectabilité maîtrisée et les coulis spéciaux, ces derniers étant placés hors réglementation).

Documents annexés au fascicule 4:

- l'arrêté du 20 Avril 1988 approuvant le règlement de l'homologation et du contrôle des armatures de précontrainte gainées protégées ;
- l'arrêté du 14 Décembre 1988 relatif à la commission interministérielle de la précontrainte ;
- l'arrêté du 13 Avril 1989 approuvant le règlement d'homologation et du contrôle des armatures de précontrainte ;
- l'arrêté du 14 Avril 1989 approuvant le règlement de l'agrément et du contrôle des procédés de précontrainte et des dispositifs d'ancrage.

Depuis 1989 sont parues quelques nouvelles circulaires relatives à l'homologation d'armatures de précontrainte.

- la circulaire n°90-04 du 8 Janvier 1990 ;
- la circulaire n°91-69 du 16 Septembre 1991 ;
- la circulaire n°93-43 du 7 Mai 1993 ;
- la circulaire n°94-43 du 18 Mai 1994 ;
- la circulaire n°95-73 du 7 Septembre 1995.

En 1993 est parue la norme NF A 35-035 relative aux fils lisses et torons de précontrainte galvanisés à chaud. Un règlement de l'homologation et du contrôle de ces types d'armatures a vu le jour avec l'arrêté du 17 février 1995 (BO 95-8).

Les tableaux ci-dessous fixent les principales caractéristiques exigées des armatures de précontrainte par le fascicule 4 et les textes associés.

<b>Fils tréfilés à froid <math>\phi 7\text{mm}</math> <math>A_p = 38,5 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1570	Classe 1670
Fe (kN)		54	57
Fr (kN)		60,4	64,3
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR / NR / NR	NR / NR / NR
0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr		RN	4,5 / 8 / 12



<b>Fils tréfilés à froid <math>\phi 8\text{mm}</math> <math>A_p = 50,3 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1570	Classe 1670
Fe (kN)		71	75
Fr (kN)		79	84
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR / NR / NR	NR / NR / NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	4,5 / 8 / 12	4,5 / 8 / 12
<b>Fils trempés et revenus <math>\phi 7</math> <math>A_p = 38,5 \text{ mm}^2</math> et <math>\phi 8\text{mm}</math> <math>A_p = 50,3 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1570 $\phi 7$	Classe 1570 $\phi 8$
Fe (kN)		53	70
Fr (kN)		60,4	79
$\epsilon_{fr}(\%)$		4	4
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR / NR / NR	NR / NR / NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	NR / NR / NR	NR / NR / NR
<b>Barres acier à haute résistance <math>\phi 20\text{mm}</math> <math>A_p = 314 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1030	Classe 1230
Fe (kN)		260	340
Fr (kN)		325	385
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation mesurée à 1000 h en %	0,6 Fr	1,5	1,5
	0,7 Fr	4	4
	0,8 Fr	6	6



<b>Barres acier à haute résistance <math>\phi 26\text{mm}</math> <math>A_p = 531 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1030	Classe 1230
Fe (kN)		443	575
Fr (kN)		547	653
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation mesurée à 1000 h en %	0,6 Fr	1,5	1,5
	0,7 Fr	4	4
	0,8 Fr	6	6
<b>Barres acier à haute résistance <math>\phi 32\text{mm}</math> <math>A_p = 804\text{mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1030	Classe 1230
Fe (kN)		670	870
Fr (kN)		830	990
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation mesurée à 1000 h en %	0,6 Fr	1,5	1,5
	0,7 Fr	4	4
	0,8 Fr	6	6
<b>Barres à haute résistance <math>\phi 36\text{mm}</math> <math>A_p = 1018 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1030	Classe 1230
Fe (kN)		850	1100
Fr (kN)		1050	1250
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation mesurée à 1000 h en % sous	0,6 Fr	1,5	1,5
	0,7 Fr	4	4
	0,8 Fr	6	6
<b>Torons standart T13 <math>\phi 12,5</math> <math>A_p = 93 \text{ mm}^2</math></b>			
Caractères garantis		Classe 1770	Classe 1860
Fe (kN)		146	154
Fr (kN)		164	173
$\epsilon_{fr}(\%)$		3,5	3,5
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR / NR / NR	NR / NR / NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	4,5 / 8 / 12	4,5 / 8 / 12

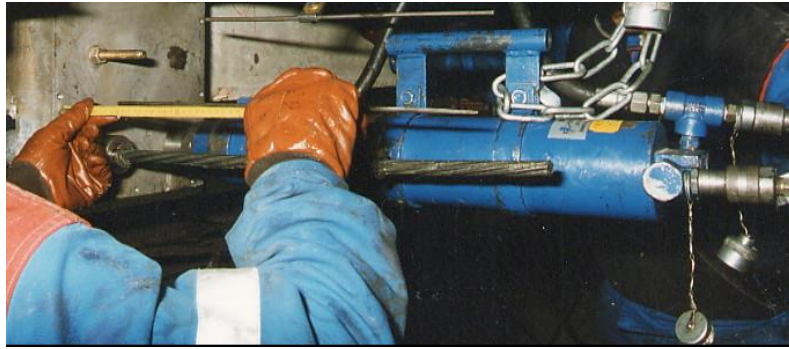
<b>Torons standart T 15 <math>\phi</math>15,2 Ap = 139 mm<sup>2</sup></b>			
Caractères garantis		Classe 1670	Classe 1770
Fe (kN)		207	220
Fr (kN)		232	246
$\epsilon_{fr}$ (%)		3,5	3,5
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR / NR / NR	NR / NR / NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	4,5 / 8 / 12	4,5 / 8 / 12
<b>Torons super T13 <math>\phi</math>12,9 Ap = 100 mm<sup>2</sup></b>			
Caractères garantis		Classe 1770	Classe 1860
Fe (kN)		NR	166
Fr (kN)		NR	186
$\epsilon_{fr}$ (%)		NR	3,5
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	NR	1 / 2,5 / 4,5
	BR	NR	NR / NR / NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	NR	4,5 / 8 / 12
<b>Torons super T 15 <math>\phi</math>15,7 Ap = 150 mm<sup>2</sup></b>			
Caractères garantis		Classe 1770	Classe 1860
Fe (kN)		236	NR
Fr (kN)		265	NR
$\epsilon_{fr}$ (%)		3,5	NR
Relaxation en % mesurée à 1000 h sous	TBR	1 / 2,5 / 4,5	NR
	BR	NR / NR / NR	NR
	0,6Fr / 0,7Fr / 0,8 Fr	4,5 / 8 / 12	NR

### 7.3 - L'évolution des procédés de précontrainte

Parmi les progrès enregistrés dans les techniques de précontrainte durant la période 1983 à nos jours, il y a lieu de citer :

- la mise au point de procédés de précontrainte extérieure rendant celle-ci facilement démontable ;
- l'utilisation de graisses puis de cires pétrolières pour l'injection des conduits de précontrainte ;
- le développement des torons gainés-protégés.

De plus, le règlement de l'agrément de 1984 a imposé une nouvelle présentation des circulaires d'agrément auxquelles doivent être jointes des fiches techniques conformes à un modèle type.



*mise en tension d'un monotoron*

La liste des circulaires d'agrément des procédés de précontrainte est la suivante :

<b>Circulaire</b>	<b>Date</b>	<b>Procédé de précontrainte</b>
86-39	6 mai 1986	Procédé Diwidag (barres lisse $\phi$ 26, 32 et 36 de la classe 1030, barre nervurée $\phi$ 15 de la classe 1080 et barres nervurées $\phi$ 26, 32 et 36 de la classe 1230) pour une durée de 10 ans
86-79	18 novembre 1986	Procédé C.C.L.U. (4, 7, 12, 19, 25, 31 T13 et T13S, 4, 7, 12, 19, 27 et 37 T15 et T15 S) pour une durée de 10 ans
87-51	12 juin 1987	Procédé V.S.L. (1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 22, 31, 37, 42 et 55 T13 - 1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 31 et 37 T15) pour une durée de 10 ans
Sans objet	8 février 1988	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. (FU et FUC 19600 et 19620) prorogée le 22 Juillet 1991 jusqu'au 1er Juillet 1992
88-17	11 mars 1988	Procédés B.B.R.B et B.B.R.V. (9, 14, 18, 22, 30, 54 et 84 $\phi$ 7) jusqu'au 1er Juillet 1992
88-37	22 avril 1988	Procédé L.H. (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12 et 19 T13) jusqu'au 1er Janvier 1999
88-84	25 octobre 1988	Procédé Freyssinet K (7, 12, 19, 27, 37 et 55 K13 - 4, 7, 12, 19, 27 et 37 K15) jusqu'au 1er Janvier 1999
88-85	26 octobre 1988	Procédé Freyssinet monogroupe (19 et 37 T15) jusqu'au 1er Janvier 1999
88-86	27 octobre 1988	Procédé P.A.C. (1, 4, 7, 8, 12, 19, 27 et 37 T13 et T15) jusqu'au 1er Juillet 1988. Prorogation de l'autorisation de distribution (4, 7, 8, 12, 19 T13 et T15 à tromplaques fonte) jusqu'au 1er Janvier 1993
Sans objet	25 mai 1990	Autorisation de distribution du procédé Freyssinet précontrainte extérieure (7, 12, 19, 27, 37 et 55 K13 - 4, 7, 12, 19, 27 et 37 K15) jusqu'au 1er Janvier 1993, puis 1996 puis 1997
Sans objet	12 juillet 1990	Autorisation de distribution du procédé P.A.C. (1, 4, 7, 8, 12, 19, 27 et 37 T13 et T15 avec tromplaques fonte) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	1er août 1990	Autorisation de distribution du procédé V.S.L. (1, 2, 3, 4, 7, 12, 19, 22, 31 et 37 T15) jusqu'au 1er Janvier 1993
Sans objet	23 octobre 1990,	Autorisation de distribution du procédé P.A.C. précontrainte extérieure (12, 19, 27, et 37 T13 et T13 S classe 1860 - 12, 19, 27 et 37 T15 et T15 S classe 1770) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	13 novembre 1990	Autorisation de distribution du procédé L.H.E. précontrainte extérieure (1, 7, 9, 12, 19 T15) jusqu'au 1er Janvier 1993
Sans objet	19 décembre 1991	Autorisation de distribution du, procédé V.S.L. précontrainte intérieure et extérieure (1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 22, 31 et 37 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
91-17	1er mars 1991	Procédé C.C.L., E.F. (4, 7, 12 et 19 T13 - 4, 7, 12, 19 et 27 T15) jusqu'au 1er Janvier 2001
91-18	1er mars 1991	procédé CONA MONO (1T 13 et T 15) jusqu'au 1er Janvier 2001
Sans objet	1er Mars 1991	Autorisation de distribution du 1er Mars 1991, procédé Freyssinet : Système C intérieure (3, 4, 7, 13, 19, 25, 31 et 37 C 15) jusqu'au 1er Janvier 1994 Système C extérieure (3, 4, 7, 13, 19, 25, 31 et 37 C15) jusqu'au 1er Janvier 1994 puis 1996 Système K intérieure (4, 7, 12, 19, 27 et 37 K15 classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1994, puis 1996, puis 1997
Sans objet	2 avril 1991	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. (12, 19 F.U./F.U.C. 600 et 620) jusqu'au 1er Janvier 1993
Sans objet	22 mai 1991	Autorisation de distribution du procédé CONA MULTI (1, 4, 7, 12, 19, 31 T13 et T15) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	22 juillet 1991	Prorogation de l'autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. (F.U. et F.U.C. 19600 et 19620) jusqu'au 1er Juillet 1992
Sans objet	19 décembre 1991	Autorisation de distribution du procédé V.S.L. (1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 22, 31, 37, 42 et 55 T13 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 19, 22, 31 et 37 T15 classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1994
Sans objet	10 avril 1992	Prorogation de l'autorisation de distribution du procédé Macalloy barres G.P. ( $\phi$ 26, 32, 36, 40 et 50) jusqu'au 1er Janvier 1993
Sans objet	15 juin 1992	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U.C. gainé protégé (F.U.C. 1600/1620) jusqu'au 1er Janvier 1994
Sans objet	22 septembre 1992 (1-92)	Autorisation de distribution du procédé Compact. F (3, 4, 7, 9, 12, 15, 19, 24, 31 et 37 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1996 puis 1997

<b>Circulaire</b>	<b>Date</b>	<b>Procédé de précontrainte</b>
Sans objet	23 octobre 1992 (2-92),	Autorisation de distribution du procédé V.S.L. dalles gainé protégé (4 T13 G.P. classe 1770 - 4 T13 S G.P. classe 1860 - 1 à 4 T15 G.P. classe 1770 - 1 à 4 T15 S G.P. classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995
Sans objet	3 Décembre 1992 (3-92)	Autorisation de distribution du procédé Freyssinet système C intérieur gainé-protégé (3, 4, 7, 13, 19, 25, 31, 37 et 55 T15 G.P. et T15 S G.P. classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995
Sans objet	3 décembre 1992 (3-92)	Autorisation de distribution du procédé Freyssinet système C extérieur (3, 4, 7, 13, 19, 25, 3, 37 et 55 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995
Sans objet	3 Décembre 1992 (4-92)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. intérieur (4, 6, 7, 12, 19 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	3 Décembre 1992 (4-92)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. extérieur (12 et 19 T15 et T15 S classe 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	30 Juin 1993 (1-93)	Autorisation de distribution du procédé L.H. intérieur (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 19 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1996 puis 1997
Sans objet	30 Juin 1993 (1-93)	Autorisation de distribution du procédé L.H.E. extérieur (1, 7, 9, 12, 19 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1996
Sans objet	1er juillet 1993 (2-93)	Autorisation de distribution du procédé Diwidag A.S. (1, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 16, 20, 27 T13 et T13 S classe 1860 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 19 T15 et T15 S classe 1770) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	16 septembre 1993 (3-93)	Autorisation de distribution du procédé Stronghold gainé-protégé ancrages plats (1, 2, 3 et 4 T15 G.P. et T15 S G.P.) jusqu'au 1er Janvier 1996 puis 1997
Sans objet	18 octobre 1993 (4-93)	Autorisation de distribution du procédé C.C.L.U. de P.C.B./C.I.P.E.C. de mai 1993 (1, 4, 7, 12, 19, 27 et 37 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	18 octobre 1993 (5-93)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. gainé protégé intérieure (1 T15 G.P. et 1 T15 S G.P. classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995 puis 1997
Sans objet	18 Octobre 1993 (5-93)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. gainé protégé extérieur (1 T15 et 1 T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1995
Sans objet	22 Octobre 1993 (6-93)	Autorisation de distribution du procédé CONA COMPACT intérieur (1, 7, 12, 19, 31 et 1 G.P. T13 et T13 S classe 1860 - 1, 4, 7, 12, 19, 22, 31 et 1 G.P. T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er janvier 1995 puis 1997
93-76	25 Octobre 1993	Procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. intérieur (F.U. 4, 6, 12, 19 T15 et T15 S classe 1770 - F.U.C. 4, 6, 7, 12, 19 T15 et T15 S classe 1770) jusqu'au 1er Janvier 2003
?	?	Procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. intérieur (F.U. 4, 6, 12, 19 T15 et T15 S classe 1770 - F.U.C. 4, 6, 7, 12, 19 T15 et T15 S classe 1770) jusqu'au 1er Janvier 2003
93-77	25 octobre 1993	Procédé L.H.E. extérieur (1, 7, 9, 12 et 19 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 2003
94-19	23 février 1994	Procédé S.E.E.E. F.U. et F.U.C. extérieur (12 et 19 T15 et T15 S classe 1770) jusqu'au 1er Janvier 2004
94-20	23 février 1994	Procédé V.S.L. extérieur (1, 2, 3, 4, 7, 12, 19, 22, 31 et 37 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 2004
Sans objet	4 octobre 1995 (1-95),	Autorisation de distribution du procédé Diwidag extérieur (12, 19 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998
Sans objet	4 octobre 1995 (2-95)	Autorisation de distribution du procédé Macalloy G.P. (barres $\phi$ 26, 32, 36, 40 et 50 classes 1030 et 1230) jusqu'au 1er janvier 1998
Sans objet	29 novembre 1995 (3-95)	autorisation des distribution du procédé Freyssinet système C intérieur (3, 4, 7, 9, 12, 13, 19, 22, 25, 27, 31, 37 et 55 T15 et T15 S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998
Sans objet	29 novembre 1995 (3-95)	Autorisation de distribution du procédé Freyssinet système C extérieur (3, 4, 7, 13, 19, 25, 31, 37 et 55 T15 G.P. et T15 S G.P. classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998
Sans objet	29 novembre 1995 (4-95)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U.T. intérieur (7, 12, 13, 19, 25, 27, 37 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998
Sans objet	29 novembre 1995 (4-95)	Autorisation de distribution du procédé S.E.E.E. F.U.T. extérieur (7, 12, 13, 19, 25, 27, 31 et 27 T15 et T15 S classes 1770 et 1860) jusqu'au 1er janvier 1998
Sans objet	19 janvier 1996 (1-96)	Autorisation de distribution du procédé dywidag SF intérieur (1,4,5,7,8,9,12,15,19,27 T13S et 1,3,4,5,6,7,9,12,15,19 T15 et T15S classe 1770 et 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998 (en remplacement du procédé dywidag AS)
Sans objet	27 février 1996 (2-96)	Autorisation de distribution du procédé Freyssinet système K avec des clavettes spécifiques (adaptation du procédé) jusqu'au 1er Janvier 1999
Sans objet	25 juin 1996 (3-96)	Autorisation de distribution du procédé CCL EF avec des torons T15 et T15S de classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1997
Sans objet	(4-96)	Autorisation de distribution procédé Tensacciai système MTIA précontrainte ultérieure, (1-4-7-9-12-15-19-22-27 T15 ou T15S classe 1860) jusqu'au 1er Janvier 1998

## 7.4 - La suppression de la CIP

Article de Thierry Kretz extrait du bulletin Ouvrages d'Art n°53 de novembre 2006 (page 39)

### *Suppression de la Commission Interministérielle de la Précontrainte (CIP)*

*La Commission Interministérielle de la Précontrainte (CIP) a été dissoute le 30 juin 2006 par le décret no 2006-662 du 7 juin 2006 relatif à la réorganisation, au retrait de magistrats et à la suppression de diverses commissions administratives. La mission Vérification du Contrôle en Usine (VCU) exercée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) pour le compte de la CIP est supprimée.*

*Pour les armatures de précontrainte, ce décret précise que l'homologation des armatures Bp est remplacée par une certification ASQPE (Association pour la Qualification de la Précontrainte et des Équipements des ouvrages). La suppression de la CIP supprime de facto les autorisations de fourniture et d'emploi. Toutes les armatures doivent être certifiées ASQPE.*

*Pour les procédés de précontrainte, les dispositions en vigueur sont indiquées dans l'avis du Ministère des Transports du Tourisme et de la Mer paru au JO du 21 septembre 2005 relatif à l'application du décret no 92-647 du 8 juillet 1992, modifié par les décrets no 95-1051 du 20 septembre 1995 et no 2003-947 du 3 octobre 2003, concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction et de l'arrêté du 29 janvier 2004 appliquant ce décret aux kits pour la mise sous tension de structures précontraintes (directive du Conseil des Communautés européennes 89/106/CEE du 21 décembre 1988) : « Il doit être rappelé aux fabricants et importateurs que les kits pour la mise sous tension des structures précontraintes doivent respecter, depuis le 28 février 2005, les dispositions du décret du 8 juillet 1992 modifié. Toutefois, tous les produits déjà mis sur le marché avant le 28 février 2005 pourront être commercialisés jusqu'au 31 décembre 2009. Au-delà de cette date limite, les responsables de la commercialisation s'exposent aux sanctions prévues par l'article 15 du décret déjà cité ».*

*Cette dernière disposition permettait d'accepter les procédés mis sur le marché avant le 28 février 2005 et bénéficiant d'un agrément délivré avant cette date, sous réserve du résultat satisfaisant de la mission de surveillance (VCU) organisée par le LCPC pour la CIP. La suppression de la CIP remet en cause cette disposition transitoire. La mission de surveillance (VCU) de la CIP comportait également le contrôle des dispositions de mise en œuvre ; ce contrôle disparaît avec la suppression de la CIP. Le futur fascicule 65A lui substitue l'obligation de respecter des référentiels européens. Il stipule en effet que la mise en œuvre de la précontrainte doit être assurée par une entreprise spécialisée répondant aux exigences définies dans le CEN Workshop agreement n° 14646 de janvier 2003 et respectant les recommandations relatives aux opérations sur site définies dans l'European Technical Approval Guideline, l'ETAG 013 (en particulier son chapitre D1.4). Il demande également que l'entreprise bénéficie d'une certification émanant d'un organisme accrédité (l'ASQPE proposera une telle certification d'ici la fin de l'année).*

*La circulaire 99-54 du 20 août 1999 instituait un avis technique coulis délivré par la CIP. La suppression de la CIP fait disparaître cette homologation ; sa durée de validité étant de un an, le seul coulis homologué en France reste encore homologué quelques mois. L'avis technique « coulis » de la CIP est remplacé dans le futur fascicule 65A par les dispositions suivantes. Les coulis d'injection doivent :*

- soit être élément constitutif du kit de précontrainte bénéficiant du marquage CE ;*
- soit bénéficier d'un marquage Ce spécifique délivré sur la base d'un Agrément Technique Européen (ATE) spécifique.*

*De plus, dans les deux cas, les coulis doivent respecter les spécifications relatives aux coulis spéciaux définies dans l'ETAG 013 : le respect de ces spécifications est obligatoire même pour les coulis dits courants au sens de l'ETAG 013.*



## Résumé

Ce document constitue une annexe électronique au guide Cerema de 2015

« Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ».

Il traite de l'évolution des armatures et procédés de précontrainte.

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.*

*En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.  
Référence : 1750w – ISRN : CEREMA-DTeciTM-2017-050-1*

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris, 77171 Sourdon - Tél. : +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret 130 018 310 00016 - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)