



# Journée technique

## CONSTRUIRE DES OUVRAGES EN BETON AVEC LE NOUVEAU FASCICULE 65 DU CCTG

Laval - 26 septembre 2017



# Journée CoTITA – fasc. 65

## Chapitre 7 : précontrainte

BRICARD Christophe, CEREMA / Dter Ouest / DLRCA

26/09/2017

# SOMMAIRE

**F65 - 2008**

## Chapitre 10 : Précontrainte par post-tension

101 – Domaine d'emploi

102 – Fournitures

103 – Mise en œuvre

104 – Particularité des unités courtes de précontrainte

105 – Particularités des armatures utilisées à titre provisoire

106 – Particularités des structures continues comportant de nombreux joints de construction

107 – Maîtrise de la conformité

## Chapitre 11 : Particularité de la précontrainte extérieure

111 – Dispositions générales

112 – Fournitures

113 – Mise en œuvre

114 – Maîtrise de la conformité

## Chapitre 12 : Précontrainte par pré-tension

121 – Domaine d'emploi

122 – Fournitures

123 – Mise en œuvre

124 – Maîtrise de la conformité

## Chapitre 13 : Protection des armatures de précontrainte par coulis de ciment

## Chapitre 14 : Autres systèmes de protection des armatures de précontrainte

**Nouveau F65**

## Chapitre 7 : Précontrainte

71 – Généralités

72 – Matériaux pour la précontrainte  
Procédés, conduits, armatures, produits d'injection

73 – Transport et stockage

Armatures, dispositifs d'ancrages, pièces et accessoires, conduits

74 – Mise en place des câbles

Pré-tension, post-tension adhérentes, Câbles non adhérents internes et externes, coupleurs

75 – Mise en tension

Pré-tension, post-tension, cas particulier des armatures utilisées à titre provisoire

76 – Mesure de protection

77 – Précontrainte extérieure

78 – Unités courtes de précontrainte

## Cas de la post-tension :

L'entreprise spécialisée bénéficie d'une certification ASQPE – *Mise en œuvre des procédés de précontrainte par post-tension*, ou équivalent.

*Rappel : les entreprises spécialisées peuvent disposer d'une attestation de mise en œuvre pour des câbles et/ou pour des barres*

*Les documents de référence : CEN Workshop Agreement n°14646 + ETAG 13*

## Cas de la pré-tension :

Dans le cas particulier des produits préfabriqués en usine, les normes européennes de produit ou à défaut la norme NF EN 13369 s'appliquent, sauf spécifications particulières fixées au marché.

NF EN 13369 de novembre 2013 : Règles communes pour les produits préfabriqués en béton

# Matériaux :

## 7.2.1 Kits ou procédés de précontrainte :

Le procédé de précontrainte doit être marqué CE par un organisme notifié tel que l'ASQPE, sur la base d'un agrément technique européen (ATE) ou d'une évaluation technique européenne (ETE).

---

## 7.2.2 Conduits :

### 7.2.2.1.2 choix du type de conduits

Pour assurer un remplissage correct du conduit par le produit d'injection

# Matériaux :

## 7.2.3 Armatures :

Les armatures à haute résistance pour construction en béton précontraint par pré- ou post-tension bénéficient d'une certification ASQPE – *Armatures de précontrainte* ou équivalent.

Toutes les armatures sont concernées... les torons clairs, protégés/gainés, les barres...

## 7.2.5 Supports des armatures et de leurs conduits :

Les dispositions retenues doivent permettre de satisfaire les tolérances dimensionnelles du tracé des armatures définies par la norme NF EN 13670/CN et par le chapitre 10 du présent document.

# Généralités :

**Sauf cas exceptionnels** : coulis marqué CE par organisme notifié tel que l'ASQPE :

- soit en tant qu'élément constitutif du kit de précontrainte\*,
- soit sur la base d'un ATE ou d'une ETE spécifique

*\* coulis qui a été testé conformément à l'ETAG 013 et qui fait l'objet d'un marquage CE conformément à l'ETAG 013. Attention : certains ATE ou ETE font référence à un coulis sans que pour autant ce dernier ait été testé et soit certifié sur la base de l'ETAG 013.*

Dans les cas exceptionnels où un coulis **ne bénéficiant pas d'un marquage CE** s'avère indispensable :

- essais de type initiaux et exigences constituants (NF EN 447) doivent faire l'objet d'un contrôle externe par un organisme indépendant tel que l'ASQPE.
- rapports d'essais et avis sur conformité tenus à la disposition du maître d'œuvre.

# Essais de type initiaux :

Fascicule 65 : 7.2.6.1.2

Essais conformes à NF EN 447.

Volumes d'air et de liquide au tube incliné à 24 heures et ressuage à la mèche à 24 h < 0,3 % du volume initial du coulis.

Fluidité au cône de Marsh NF EN 445 > 13 s à la mise en œuvre.

Valeurs inférieures acceptables si :

- essai de convenance (même malaxeur, conditions de T°C similaires) sur un élément représentatif du tracé du câble,
- et si la procédure d'injection prévoit des dispositions appropriées pour éviter la création de poches d'air.

Résistance en traction par flexion à 28 jours NF EN 196-1 :  $\geq 4$  MPa.

Si T°C de la structure contiguë au câble < 5 °C pendant les 48 h suivant les injections : temps de prise à 3 °C < 24 heures.

Absorption capillaire P 18 364 : < 1 g/cm<sup>2</sup>.

# Généralités :

**Sauf cas exceptionnels :** marquage CE délivré par un organisme notifié tel que l'ASQPE.

Dans les cas exceptionnels où un produit souple ne bénéficiant pas d'un marquage CE s'avère indispensable :

- essais de type initiaux et exigences en termes de constituants doivent faire l'objet d'un contrôle externe par un organisme indépendant tel que l'ASQPE.
- rapports d'essais et avis sur la conformité tenus à la disposition du maître d'œuvre.

# Transport et stockage :

## 7.3.1 Armatures :

Pas d'évolution dans le texte.

## 7.3.2 Dispositifs d'ancrage, pièces et accessoires :

Les dispositifs d'ancrage, les pièces et accessoires sont livrés sous un emballage et avec une protection provisoire assurant l'absence de corrosion jusqu'à la mise en œuvre de la protection définitive (voir les dispositions de l'ATE ou de l'ETE relatives aux procédés concernés).

Les dispositifs d'ancrage, pièces et accessoires doivent être exempts de corrosion lors de la mise en tension.

## 7.3.3 Conduits :

Sauf s'ils bénéficient de propriétés de résistance aux UV, les tubes sont protégés de la lumière directe du soleil pendant tout le temps de transport et de stockage.

Sauf si elles bénéficient de propriétés de résistance aux UV, les gaines annelées en matière plastique doivent être stockées à l'abri des rayonnements ultra-violet sur un fond plat et horizontal.

Pendant toutes les phases qui précèdent l'injection (transport, stockage, mise en œuvre, etc.), les tubes en acier ne doivent pas subir de corrosion significative telle que les coefficients de frottement s'en trouvent augmentés.

Pendant toutes les phases qui précèdent l'injection (transport, stockage, mise en œuvre, etc.), les gaines métalliques en feuillard ne doivent pas subir de corrosion significative telle que les coefficients de frottement s'en trouvent augmentés.

## 7.4. Armatures, câbles et coupleurs :

Pas d'évolution dans le texte.

# Mise en tension

## 7.5.1 Armatures de pré-tension :

### 7.5.1.1 Déroulement de la mise en tension

La mise en tension est réalisée conformément à la norme NF EN 13670/CN selon un programme établi et accepté.

Le programme de mise en tension est conforme au E. 7.5.2 (1) de l'annexe informative E de la norme NF EN 13670/CN qui est rendu contractuel.

NF EN 13670/CN

## 7.5.2 Armatures de pré-tension

(1) Si, lors de la mise en tension des armatures de pré-tension à la force spécifiée, l'allongement réel de l'ensemble de toutes les armatures au niveau d'une section particulière (ancrage actif) de la structure n'est pas dans un intervalle de  $\pm 3\%$  de l'allongement calculé, ou si l'allongement réel d'une armature unique n'est pas dans un intervalle de  $\pm 5\%$  de l'allongement calculé, une action doit être entreprise conformément aux spécifications d'exécution.

Lorsque la tension est réalisée par contrôle de l'allongement, la valeur cible doit être déterminée à partir des courbes force-allongement communiquées par le fournisseur des armatures pour chaque bobine.

# Mise en tension

## 7.5.1 Armatures de pré-tension :

### Matériel de mise en tension

Le contrôle des vérins doit être effectué une fois par an par un organisme notifié.

### Résistance du béton pour le relâchement des armatures

La mise en précontrainte de l'élément n'est autorisée que si la résistance à la compression du béton a atteint la valeur fixée par le projet (\*). Cette valeur dite « résistance permettant le relâchement des armatures de précontrainte » est contrôlée par une épreuve d'information (\*\*).

La pression ne doit en aucun cas dépasser la valeur correspondante à  $\sigma_{p,max}$  définie dans la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale, la norme NF EN 1992-1-1/NA.

# Mise en tension

## 7.5.1 Armatures de pré-tension :

### 7.5.1.2 Contrôle intérieur

Le contrôle intérieur, décrit dans la procédure visée en 7.1 et effectué conformément à celle-ci, concerne :

- le contrôle des matières premières et des fournitures,
- l'épreuve d'information portant sur la résistance du béton,
- le contrôle du positionnement des armatures,
- les épreuves de contrôle dont le but est notamment de vérifier les exigences du processus de mise en tension : mesures des pressions et allongements,
- le contrôle du produit fini (mesures des rentrées d'ancrage, mesures des contre-flèches).

### 7.5.1.3 Contrôle extérieur

Le contrôle extérieur permet de s'assurer :

- de l'identification et de la conformité des fournitures de précontrainte,
- de la conformité des matériels de mise en tension,
- du caractère concluant des épreuves d'information et de contrôle,
- du respect des procédures de mise en tension.

Le maître d'œuvre assisté par le contrôle extérieur lève les points d'arrêt suivants :

- autorisation de mise en tension, après vérification du programme de mise en tension ;
- autorisation de mise en place des tubes de gainage et de leur cachetage, après les vérifications de la conformité de la mise en tension.

Dans le cas de produits préfabriqués en usine, le contrôle peut relever de contrôles extérieurs effectués dans le cadre de la certification de produit par tierce partie ou de laboratoires désignés dans le projet.

# Mise en tension

## 7.5.2 Armatures de post-tension :

### 7.5.2.1 Résistance du béton

La résistance moyenne  $f_{cm}$  qui résulte des essais doit vérifier les critères suivants :

- $f_{cm} \geq f_{cm,0} + 3 \text{ MPa}$
- $f_{cm} \geq f_{ck}(t) + 3 \text{ MPa}$

Le béton utilisé pour réaliser les essais doit être représentatif du béton des zones d'ancrage de la précontrainte.

La mise en tension peut être autorisée lorsque le béton présente une résistance  $f_c$  suffisante ; celle-ci est vérifiée par une épreuve d'information effectuée au préalable soit sur des éprouvettes prélevées sur la dernière zone d'ancrage bétonnée et conservées conformément au 8.3.2.4.2, soit par la méthode maturométrique citée au même 8.3.2.4.2. Dans le cas d'emploi de la maturométrie, la position des capteurs de température doit être déterminée de façon à appréhender au mieux la montée en résistance du béton dans les zones critiques.

# Mise en tension

## 7.5.2 Armatures de post-tension :

### 7.5.2.3 Matériel de mise en tension

Dans le cas où le manomètre est branché directement sur la pompe, il y a lieu de vérifier la correspondance entre la pression au vérin et celle à la pompe dans l'ensemble pompe manomètre-flexible-vérin. Un deuxième manomètre est placé au niveau du vérin pour établir la correspondance.

### 7.5.2.4 Mesure de pressions et allongements

La mise en tension est réalisée conformément à la norme NF EN 13670/CN selon un programme établi et accepté. Le programme de mise en tension est conforme au E. 7.5.3(1) de l'annexe informative E la norme NF EN 13670/CN qui est rendu contractuel.

$$0,95 \sum a_0 \leq \sum a \leq 1,05 \sum a_0$$

$$0,90 a_0 \leq a \leq 1,10 a_0$$

## 7.5.2 Armatures de post-tension :

### 7.5.2.6 Coefficient de frottement

NOTE Elles n'ont de véritable intérêt que pour des câbles présentant ou une grande longueur ou des déviations importantes (autrement dit, lorsque le coefficient de transmission calculé  $k_{cal}$  est inférieur à une certaine valeur qu'on peut raisonnablement fixer à 0,8).

En épreuve de convenance, elles sont alors réalisées soit sur des câbles incorporés à un élément d'essai (câbles transversaux à géométrie complexe, par exemple) soit, le plus souvent, sur des câbles de l'ouvrage à construire (souvent les trois premiers de chaque famille concernée).

En épreuve de contrôle, elles sont préconisées dans le cas des ouvrages non courants lorsque l'opération de mise en tension porte sur un nombre important de câbles ou de phases. Elles peuvent également être réalisées par le contrôle extérieur. Les résultats obtenus sur la première phase de mise en tension sont analysés et peuvent conduire à réajuster le niveau de précontrainte à appliquer lors des phases suivantes.

L'annexe C 1.2 décrit la méthode pour la détermination du coefficient de transmission.

# Mise en tension

## 7.5.2 Armatures de post-tension :

### 7.5.2.9 Contrôle intérieur

Le contrôle intérieur comprend :

- l'ensemble des missions de contrôle dévolues au CMP (cf 7.5.2.2),
- l'épreuve d'information portant sur la résistance du béton (cf 7.5.2.1),
- l'épreuve de convenance de mesures des coefficients de transmission (cf 7.5.2.6),
- différentes épreuves de contrôle dont le but est de vérifier les exigences sur la mise en tension définies dans la norme : mesures des pressions et allongements (cf 7.5.2.4), mesures des rentrées d'ancrage (cf 7.5.2.5), voire mesures des coefficients de transmission (cf 7.5.2.6).

### 7.5.2.10 Contrôle extérieur

Le contrôle extérieur permet de s'assurer :

- de la conformité des matériels de mise en tension,
- du caractère concluant des épreuves d'information, de convenance et de contrôle,
- du respect des procédures de mise en tension.

Lors de la mise en tension, le contrôle extérieur peut réaliser des épreuves de contrôle portant sur les mesures des coefficients de transmission et sur les mesures des pressions et allongements.

Le maître d'œuvre, assisté par le contrôle extérieur, lève les points d'arrêt suivants :

- autorisation de bétonnage
- autorisation d'enfilage
- autorisation de mise en tension
- autorisation de coupe des armatures

# Convenance :

Au plus tard 24 h avant le début des injections ; conditions du chantier.

Équipement pour la fabrication du coulis (malaxeur, bac d'entretien pour le stockage temporaire, ...) similaire (vitesse de rotation sensiblement égale et contenance voisine) à celui ou ceux utilisés sur chantier.

Protocoles conformes NF EN 445.

# Convenance :

Type d'essai	Nombre d'essais	Critère d'acceptation
Tube incliné	1 si requis	Exigences NF EN 447 Volume liquide et volume air à 24h $\leq 0,3\%$ du volume théorique de coulis
Fluidité	- 1 essai immédiatement après mélange - 1 essai 30' après mélange - 1 essai à la fin de la DPU théorique	NF EN 447
Variation de volume et ressuage à la mèche	- 2 essais après mélange - 1 essai à la fin de la DPU théorique	NF EN 447 Exsudation à 24h $\leq 0,3\%$ du volume initial de coulis

# Contrôle :

Type d'essai	Nombre d'essais	Critère d'acceptation
Fluidité	<p>3 séries d'essais / j, et au moins une série toutes les 4 h.</p> <p>1 série = 1 essai à l'entrée du conduit + 1 essai à la sortie du conduit.</p> <p>1 série d'essais à effectuer sur 1<sup>er</sup> câble injecté.</p> <p>Contrôle de masse volumique peut être réalisé à la même fréquence si spécifié dans le marché</p>	<p>Idem convenances</p> <p>Différence entre temps d'écoulement à la fabrication et à la sortie &lt; 4 s secondes.</p>
Variation de volume et ressuage à la mèche	1 essai par demi-journée	Idem convenances

# Contrôle extérieur :

Fascicule 65 : 7.6.5.4

Le contrôle extérieur permet de s'assurer :

- de l'identification et de la conformité des constituants utilisés,
- du caractère concluant des épreuves de convenance et de contrôle,
- du respect des procédures de fabrication et d'injection.

Le maître d'œuvre assisté par le contrôle extérieur lève les **points d'arrêt** suivants :

- autorisation d'injection,
- exécution du cachetage.

# Modalités de l'injection :

Au niveau de la pipe d'injection, la température des produits doit être :

- < 110 °C,
- suffisamment élevée pour maintenir une fluidité suffisante jusqu'à l'extrémité du conduit injecté.

Pression d'injection des produits souples  $\leq 1,5$  MPa. Maintenir une pression stabilisée supérieure à 0,5 MPa pendant 1' après fin de l'injection.

Elle précise notamment :

- dispositifs de protection des parements contre projections de cire aux points d'injection, de sortie et aux événements.

# Contrôle intérieur :

Fascicule 65 : 7.6.6.3

Les vérifications portent sur :

- étanchéité des conduits,
- T°C injection,
- pression d'injection,
- durée de maintien en pression à la fin de l'injection,
- volume mis en œuvre.

# Contrôle extérieur :

Fascicule 65 : 7.6.6.5

Permet un ajustement des paramètres de l'injection (température, pression).

On peut procéder à une vérification du remplissage des conduits par thermographie infrarouge.

# Précontrainte extérieure :

Fascicule 65 : 7.7

## 7.7.1 Disposition générale

Le système de précontrainte utilisée doit disposer d'un agrément technique européen (ou ETE) avec l'usage optionnel précontrainte extérieure.

## 7.7.4 Mise en œuvre :

### Études d'exécution

Les exigences sur la consistance des études d'exécution figurant au 4.1 de la deuxième partie du guide Sétra de 1990 « *Précontrainte extérieure* » sont applicables.

### Assemblages, raccords et joints de déplacement

Les exigences du 1.4 de la deuxième partie du guide Sétra de 1990 « *Précontrainte extérieure* » sont applicables.

# Unités courtes

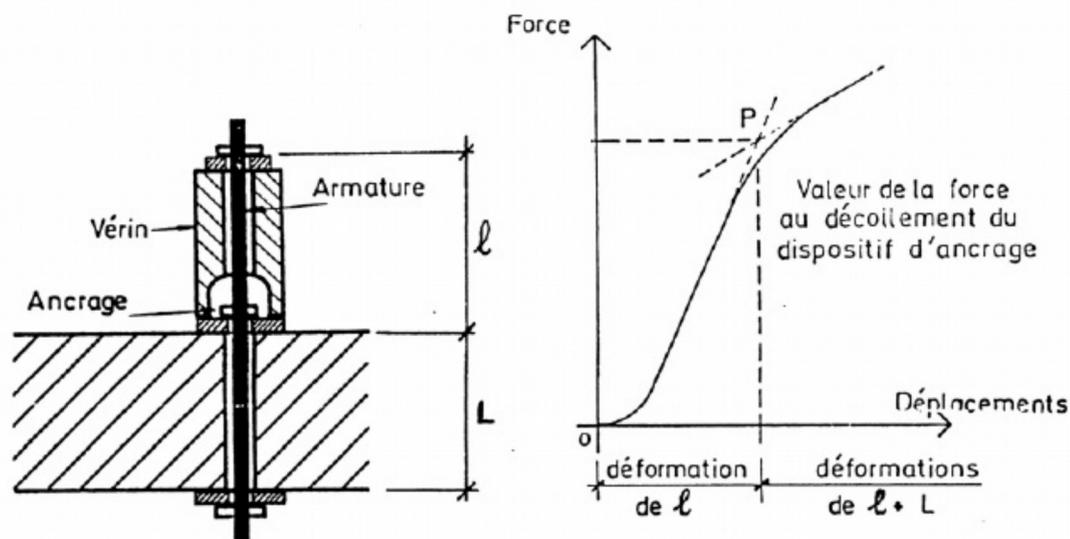
Fascicule 65 : 7.8

L'allongement relatif devient très sensible à la précision de la mesure et aux effets de rentrée d'ancrage pour les unités courtes. Les règles sur les allongements extrémaux admissibles, fixés en 7.5.2.4, peuvent être assouplies, sur la base d'une étude de sensibilité aux incertitudes des différents paramètres (longueur de l'armature, rentrée d'ancrage, coefficients de frottement, ...).

Les études d'exécution peuvent montrer la nécessité d'effectuer un recalage au bout d'un certain délai. Dans ce cas, on procédera à un pesage préalable avant tout recalage.

Il peut être nécessaire d'effectuer deux ou trois phases de mise en tension pour les barres très courtes. Les études d'exécution doivent justifier le nombre et la nature des phases.

**Figure 7.1 – Principe de la reprise de tension d'une armature de précontrainte de faible longueur**



## Annexe C – Spécifications complémentaires pour la précontrainte

### C1 – PARTIE CONTRACTUELLE

C1.1 – Calcul des allongements

C1.2 – Mesure du coefficient de transmission

### C2 – PARTIE NON CONTRACTUELLE

C2.1 – Diamètres minimaux et épaisseurs minimales des conduits

C2.2 – Tableau des accessoires pour injection

C2.3 – Exemple de dispositions pour l'injection au coulis de ciment

C2.4 – Exemple de contrôle relatifs aux injections a posteriori pour déceler d'éventuels défauts d'injection

Merci de votre participation