

MAITRE D'OUVRAGE  PRÉFET DE LA RÉGION NOUVELLE-AQUITAINE Liberté Égalité Fraternité Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Nouvelle-Aquitaine <i>Cité administrative – Rue Jules Ferry</i> 33090 BORDEAUX CEDEX		ASSISTANCE A MAITRE D'OUVRAGE  INGÉROP <i>Inventons demain</i> INGEROP 5, Impasse des Mûrier CS 80012 – 33692 MERIGNAC CEDEX
ARCHITECTE  architectes MOG ARCHITECTES 8, rue Esprit des Lois 33000 BORDEAUX	MAITRE D'OEUVRE  setec SETEC 42, rue du Général de Larminat 33000 BORDEAUX	ENTREPRISE  EIFFAGE GÉNIE CIVIL EIFFAGE GENIE CIVIL 3-7, Place de l'Europe CS 50570 – 78140 VELIZY-VILLACOUBLAY

Conception et Réalisation d'une passerelle modes actifs accrochée au Pont François Mitterrand

Livret 9 - Précontrainte

58038_ALS_ACT_GEN_GEN_STD_00309 - Livret 9 - Précontrainte

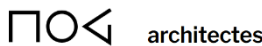
A	20/04/2025	IDR	SRI	ADE	Première émission
IND	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Observations / Modifications
Émetteurs : 				Diffusion :  	

Table des matières

1	Préambule	4
2	Fournitures	5
2.1	Précontrainte par torons	5
2.1.1	Choix et provenance	5
2.1.2	Transport, manutention, stockage	5
2.1.3	Protection provisoire avant mise en œuvre	5
2.2	Dispositifs d'ancrage	6
2.3	Conduits de précontrainte	6
2.3.1	Gaines métalliques en feuillard	6
2.3.1	Tubes lisses en polyéthylène haute densité	6
2.4	Injection des gaines de précontrainte intérieure	8
2.4.1	Nature du coulis	8
2.4.2	Spécifications des constituants	8
2.4.3	Spécifications du coulis	9
2.4.4	Fiche d'identification	10
2.4.5	Tolérances	10
2.5	Injection des gaines de précontrainte extérieure	10
2.5.1	Modalités pour injection à la cire ou à la graisse	10
2.6	Remplissage des dispositifs d'ancrage	11
3	Précontrainte par barres	11
3.1.1	Armatures de précontrainte	11
3.1.1	Procédé	12
3.1.2	Injection des gaines et des dispositifs d'ancrage	13
4	Mise en œuvre	13
4.1	Mise en place des conduits, ancrages et armatures	13
4.1.1	Mise en place des conduits de précontrainte extérieure	13
4.1.2	Calage des ancrages	14
4.1.3	Mise en place des ancrages et des coupleurs	14

4.1.4	Mise en place des accessoires pour injection	14
4.1.5	Mise en place des armatures	15
4.1.6	Barres de précontrainte	16
4.2	Mise en tension des armatures	16
4.2.1	Matériel de mise en tension	16
4.2.2	Condition de réemploi des armatures	17
4.2.3	Recépage	17
4.2.1	Barres de précontrainte	17
4.3	Protection des armatures mises en place.....	17
4.3.1	Protection provisoire des armatures.....	17
4.3.2	Protection définitive des armatures par coulis de ciment	18
4.3.3	Protection définitive des armatures par cire ou graisse	19
4.3.4	Cachetage des ancrages	19
4.3.5	Démontabilité des câbles de précontrainte et étanchéité des têtes d'ancrage	19
5	Management de la qualité	21
5.1	Organisation – contenu des procédures d'exécution	21
5.1.1	Missions et compétences du CMP	21
5.1.2	Programme de précontrainte.....	22
5.2	Définition des contrôles.....	23
5.2.1	Contrôles de la réception à la mise en place des unités de précontrainte	23
5.2.2	Contrôles des mises en tension.....	24
5.2.3	Contrôles préalablement à l'injection	24
5.2.4	Contrôles en cours d'injection	25
5.2.5	Contrôle de remplissage des conduits de précontrainte	25

1 Préambule

Dans le présent Cahier des Prescriptions Techniques (CPT), et à défaut de précisions complémentaires, le terme « Entrepreneur » désigne l'Entreprise ou ses sous-traitants qui vont assurer l'exécution des prestations correspondantes.

L'ensemble des contrôles décrits ci-après sera réalisé à la charge de l'Entrepreneur, dans le cadre de son contrôle intérieur. Il tiendra les fiches correspondantes à disposition du Maître d'Œuvre puis les remettra dans le dossier DOE. Lors d'un point d'arrêt, les contrôles associés seront impérativement joints à la fiche de levée de point d'arrêt.

Il est porté à la connaissance de l'Entrepreneur que l'ETAG 013, cité notamment dans le Fascicule 65 du CCTG, est remplacé par les EAD « European Assessment Documents » 160004-00-0301 (« Post-tensioning kits for prestressing structures ») et 160027-00-0301 (« Special filling for post-tensioning kits »).

2 Fournitures

Les stipulations du chapitre 7 Fascicule 65 du CCTG et de l'article 7 de la norme NF EN 13670/CN s'appliquent.

2.1 Précontrainte par torons

2.1.1 Choix et provenance

Les armatures de précontrainte satisferont aux stipulations du Fascicule 4, Titre II du CCTG, à celles de la norme NF EN 13670/CN et de la norme NF EN 10138 et devront être certifiées par l'ASQPE (Association pour la qualification de la précontrainte et des équipements des ouvrages, du bâtiment et du génie civil).

Les procédés de précontrainte et les dispositifs d'ancrage devront être faire l'objet d'un ATE (agrément technique européen) par un organisme d'agrément notifié (ONA) selon l'EAD 160004-00-0301 avec marquage CE.

Par complément au 7.2.1 (2) de la norme NF EN 13670/CN, ces agréments concernent, outre les pièces d'ancrage (ou de prolongation des armatures, dans le cas des coupleurs), tous les organes annexes destinés à assurer la déviation des armatures à leur voisinage et le raccordement à la partie courante de leur tracé, ainsi que les pièces et matériels nécessaires aux mises en tension, aux injections et au cachetage. Tous ces éléments sont décrits dans la notice et les fiches techniques de chaque procédé.

Pour la précontrainte additionnelle extérieure l'agrément devant par ailleurs confirmer son utilisation pour une précontrainte extérieure et son caractère remplaçable.

2.1.2 Transport, manutention, stockage

Les prescriptions du § 7.3 du fascicule 65 et du §7.3 de la NF EN 13670/CN sont complétées comme suit :

- Les armatures seront stockées jusqu'au jour de leur mise en œuvre dans une zone ventilée à l'abri des intempéries. Elles seront séparées du sol par un plancher en bois, d'épaisseur minimale 0,20 m, assurant une ventilation inférieure. Elles devront être protégées, à tout moment, des chocs et de toute sorte d'agression ou de pollution (étincelles provenant de découpages effectués au voisinage par exemple). Aucune couverture de protection utilisée à cet effet ne devra être en contact avec l'acier.
- Toute opération de soudure sera interdite à proximité des armatures stockées.
- Si des barres de nuances différentes se trouvent simultanément sur le chantier, elles devront être stockées séparément et marquées individuellement à la peinture de façon à éviter toute confusion. Le nombre d'emplois sera visualisé par un cercle peint sur la barre après chaque utilisation.

2.1.3 Protection provisoire avant mise en œuvre

La protection provisoire sera en conformité avec les stipulations du §7.3 du fascicule 65 du CCTG et soumise à l'acceptation du Maître d'œuvre.

Les conditions de livraison des armatures de précontrainte seront conformes à l'article 5 du fascicule 4 Titre II.
Les armatures seront livrées sur le chantier, recouvertes d'un produit de protection déposé par l'usine productrice.

L'Entrepreneur procédera à un contrôle périodique de l'état de la protection provisoire.

Pour toute durée de stockage supérieure à un mois, l'Entrepreneur procédera au renouvellement du produit de protection provisoire, en cas de détérioration.

2.2 Dispositifs d'ancrage

Les dispositifs d'ancrage devront être soumis à l'acceptation du Maître d'Œuvre.

Les dispositifs d'ancrage doivent être livrés sous un emballage assurant leur protection contre la corrosion et doivent être stockés dans un local clos avec leurs accessoires.

La protection des têtes d'ancrage se fera à l'aide d'un capot métallique étanche galvanisé à chaud rempli soit de coulis de ciment soit de cire pétrolière, conformément au § 4.1.3.2.

Tout élément d'ancrage ne disposant pas d'un système de protection type coulis ou cire sera galvanisé à chaud 550 grammes/m² soit 70 micromètres conformément aux normes NF A 35-503 « Produits sidérurgiques - Exigences pour la galvanisation à chaud d'éléments en acier » NF EN ISO 1461 « Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier – Spécifications et méthodes d'essai », sauf là où cette galvanisation serait incompatible avec le procédé de précontrainte.

2.3 Conduits de précontrainte

2.3.1 Gaines métalliques en feuillard

Les gaines de réservation pour câbles de précontrainte intérieure au béton seront soit des gaines en feuillard rigide cintrable à la main conformes aux normes NF EN 523 et NF EN 524-1 à -6, soit de tubes d'acier conformes à la NF EN 10255+A1 « Tubes en acier non allié soudables et filetables - Conditions techniques de livraison » cintrables sur machine. Ces derniers seront utilisés là où les rayons de courbure des câbles ne permettent pas d'utiliser des gaines en feuillard.

L'épaisseur des gaines rigides cintrables à la main ne sera pas inférieure à 0,6 mm et leur diamètre intérieur devra permettre un enfilage correct des torons pour obtenir de bons coefficients de transmission.

2.3.1 Tubes lisses en polyéthylène haute densité

Les tubes lisses en polyéthylène à haute densité (PEHD) bénéficient de la marque NF et seront conformes à l'évaluation technique européenne (ETE) pour le système de précontrainte.

Ils respectent les prescriptions des chapitres 7.2.2.1 et 7.2.2.3 du fascicule 65 du CCTG.

Une étanchéité parfaite entre éléments de gaine et une excellente résistance à la corrosion sont requises.

2.3.1.1 Gaines individuelles

Exigences particulières pour les gaines individuelles :

- Le temps d'induction à l'oxydation (TIO) du PEHD devra être supérieur à 20 minutes selon la norme NF EN 728,
- Teneur en Noir de Carbone : conformité à l'EAD 160004-00-0301. La teneur en noir de carbone sera supérieure à $2,3\% \pm 0,3\%$,
- Allongement à la rupture : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. L'allongement à la rupture doit être supérieur ou égal à 500% à 23°C et la contrainte au seuil d'écoulement à 23°C ≥ 18 MPa (selon le référentiel de l'ASQPE : norme d'essai = NF EN ISO 527-2).

L'Entrepreneur est informé que le contrôle extérieur réalisera sur chaque lot de gaines individuelles les essais de conformité aux exigences particulières listées ci-dessus. Le respect des exigences particulières s'établit à travers une valeur correspondant à la moyenne de trois essais.

2.3.1.2 Gaines collectives

Les gaines sont de section circulaire, quel que soit le type de torons.

Exigences particulières sur les conduits PEHD :

- Temps d'induction à l'oxydation : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. Le temps d'induction à l'oxydation doit être supérieur ou égal à 20 minutes à 200°C (norme ISO 11357-6).
- Teneur en Noir de Carbone : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. La teneur en noir de carbone doit être (2 à 2,5%) en masse (norme ISO 6964).
- Allongement à la rupture : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. L'allongement à la rupture doit être supérieur ou égal à 500% à 23°C et la contrainte au seuil d'écoulement à 23°C ≥ 19 MPa (selon le référentiel NF 114 – groupe 2).
- Résistance en traction (car les coefficients de dilatation PEHD et béton/acier sont notablement différents).

Les manchons doivent être conformes à la norme NF EN 12201 et sont à fournir avec la qualité PE100 – PN16.

Le délai de garantie des gaines et des dispositifs de raboutage est de 10 ans.

L'Entrepreneur proposera les conduits à l'acceptation du maître d'œuvre et le fournisseur à l'agrément du maître d'œuvre dès la période de préparation des travaux. Les conduits ne seront acceptés que sur présentation d'un procès-verbal de l'organisme certificateur qui sera remis au maître d'œuvre pendant la période de préparation et de l'approbation du contrôle externe de la fabrication.

Le maître d'œuvre se réserve le droit de faire un prélèvement de quelques unités de gaine, fournies par l'Entrepreneur, pour les besoins du contrôle extérieur.

L'Entrepreneur est informé que le contrôle extérieur porte sur chaque lot de conduits PEHD et les manchons de raccordement. Il réalisera les essais de conformité aux exigences particulières listées ci-dessus. Le respect des exigences particulières s'établit à travers une valeur correspondant à la moyenne de trois essais. Tout lot de produits non conforme à l'issue de ces essais sera rebuté.

2.3.1.3 About de gaine collective à l'ancrage de la précontrainte

Ces prescriptions sont relatives à l'about de gaine collective en forme de tulipe qui accompagne la tête d'ancrage de la précontrainte.

Cette pièce devra être couverte par l'ATE du procédé de précontrainte, ou à défaut respecter les exigences de celui-ci.

Dans le cas particulier de pièces d'about en tulipe réalisées en PEHD, les exigences suivantes seront également à respecter :

- Temps d'induction à l'oxydation : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. Le temps d'induction à l'oxydation doit être supérieur ou égal à 20 minutes à 210°C (norme ISO 11357-6).
- Teneur en Noir de Carbone : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. La teneur en noir de carbone doit être (2,3% +/-0,3%) en masse (norme ISO 6964).
- Allongement à la rupture : conformité aux normes NF EN 12201-1 et 12201-2. L'allongement à la rupture doit être supérieur ou égal à 500% à 23°C et la contrainte au seuil d'écoulement à 23°C ≥ 18 MPa (selon le référentiel de l'ASQPE : norme d'essai = NF EN ISO 527-2).

2.4 Injection des gaines de précontrainte intérieure

Les stipulations du § 7.2.6.1 (coulis de ciment) et §7.6 du Fascicule 65 du CCTG et la norme NF EN 13670/CN s'appliquent.

2.4.1 Nature du coulis

Les coulis d'injection doivent être conformes aux normes NF EN 445 « Coulis pour câble de précontrainte - Méthodes d'essai », NF EN 446 « Coulis pour câble de précontrainte - Procédures d'injection de coulis » et NF EN 447 « Coulis pour câble de précontrainte - Prescriptions pour les coulis courants » et :

- Soit être un élément constitutif du kit de précontrainte bénéficiant du marquage CE,
- Soit bénéficier d'un marquage CE spécifique délivré sur la base d'un avis technique spécifique.

2.4.2 Spécifications des constituants

Les différents constituants du coulis respecteront les stipulations complémentaires suivantes :

2.4.2.1 Ciment

Le ciment ne devra pas présenter de phénomène de raidissement aux essais de fausse prise mise en évidence par l'essai de Tusschenbroeck.

2.4.2.2 Eau de gâchage

L'eau sera conforme aux exigences de la NF EN 1008.

2.4.2.3 Adjuvants et additifs

Ils seront conformes à la NF EN 934-4 « Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 4 : adjuvants pour coulis de câble de précontrainte - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage ». Seuls pourront être utilisés des adjuvants inscrits à la marque « NF-Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis ».

Les adjuvants contenant des thiocyanates, des nitrites, des nitrates, des formiates et des sulfures seront exclus.

2.4.2.4 Additions

Les additions minérales rajoutées au ciment et aux adjuvants lors de la préparation des coulis spéciaux, jouant un rôle analogue à celui des additions au béton, devront être conformes aux normes en vigueur.

Les additifs ne contiendront aucun ion agressif vis-à-vis des aciers.

Leur composition chimique ne donnera lieu à la formation d'aucun produit susceptible d'entraîner ou de favoriser à terme une attaque des aciers et/ou du ciment. Ils pourront faire l'objet d'analyses et d'essais et aucune modification ne devra intervenir ultérieurement dans leur formulation chimique.

2.4.3 Spécifications du coulis

Le coulis "à durée d'injectabilité maîtrisée" (coulis courant ou spécial) devra répondre aux spécifications complétées comme suit :

- Fluidité : Le temps d'écoulement au cône de Marsh avec un ajustage de diamètre 10 mm, qui permet de mesurer la fluidité, devra rester compris entre 11 et 25 secondes, à la fabrication et en sortie de conduit, pendant toute la durée d'injectabilité ne pourra être inférieure à 4 heures pour la température maximale du coulis admise à la mise en œuvre égale à 30°C.
- En cas d'injection par temps chaud, ou dans le cas d'injections simultanées, le début de prise mesuré à 30°C, s'effectuera dans un délai supérieur à 3 heures à partir de la fin de la fabrication du coulis.
- Le retrait mesuré restera limité à 2800 µm/m.
- Stabilité au tube incliné : ni le volume de liquide ni le volume d'air ne doivent excéder à 24 heures 0,3% du volume théorique de coulis dans le tube associé à la procédure d'injection
- Exsudation : évaluée par l'essai de stabilité au tube de 1 mètre à 24 heures, elle doit être au plus égale à 0,3% du volume initial de coulis. Le volume d'air doit être à 24 heures au plus égal à 1% du volume initial de coulis
- Résistances mécaniques : la résistance à la flexion à 28 jours du coulis durci conservé dans des sacs étanches doit être supérieure à 4MPa. La résistance à la compression à 28 jours doit être supérieure à 30MPa.

- Fin de prise : mesurée sur coulis inférieure à 24 heures
- Variation de volume comprise entre -1% et +5% du volume initial
- Absorption capillaire inférieure à 1g/m² (cf. norme P 18-364 « Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Coulis courants d'injection pour précontrainte - Essai d'absorption capillaire »).

2.4.4 Fiche d'identification

L'Entrepreneur établira, dans le cadre du Programme de précontrainte, une fiche d'identification donnant la composition nominale du coulis et définissant :

- La nature les caractéristiques et la provenance des constituants (ciment, eau, adjuvants et additifs),
- Le dosage visé de chaque constituant exprimé en poids, avec les tolérances admises,
- Les caractéristiques de base (fluidité, exsudation, durée d'injectabilité en fonction de la température, résistances mécaniques),
- Les autres caractéristiques (début et fin de prise, retrait, absorption capillaire),
- Les modifications du temps de prise en fonction de la température (accélération du début de prise pour des températures ambiantes et du béton supérieures à 25°C, et retard de la fin de prise pour des températures du béton inférieures à 5°C),
- Les modalités de livraison et de stockage sur le chantier, y compris les précautions à prendre par temps chaud ou froid,
- Les modalités de fabrication (matériels, phasage des opérations, dont l'ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur),
- Les modalités d'exécution des épreuves d'études, de convenance et de contrôle.

2.4.5 Tolérances

Les tolérances admises sur les dosages sont les suivantes :

- +/- 2% sur la masse de ciment
- +/- 1% sur la masse d'eau
- +/- 2% sur la masse d'adjuvant

2.5 Injection des gaines de précontrainte extérieure

Les stipulations du § 7.6 du Fascicule 65 du CCTG et du §7.6 de la NF EN 13670/CN s'appliquent.

2.5.1 Modalités pour injection à la cire ou à la graisse

La graisse ou la cire pour le remplissage des gaines et des dispositifs d'ancrage des armatures non adhérentes doit être telle que spécifiée dans l'agrément technique européen (ATE) du système de précontrainte.

Les modalités des opérations d'injection sont proposées par l'Entrepreneur et soumises à l'acceptation du maître d'œuvre. Elles sont obligatoirement confirmées par une preuve de convenance.

Des essais seront à réaliser par l'Entrepreneur conformément aux dispositions du 7.6.6.1. du fascicule 65 du CCTG. Les essais d'étanchéité des conduits sous pression d'eau sont interdits.

L'injection de graisse ou de cire doit être effectuée avec un débit continu et régulier.

Le volume injecté doit être comparable au volume théorique disponible de la gaine. La variation de volume due à la température doit être prise en compte.

Après achèvement de l'injection, toute perte imprévue de graisse ou de cire doit être évitée grâce à un cachetage des gaines sous pression.

Les matériaux, connexions et matériels doivent être choisis en fonction des températures nécessaires pour l'injection de graisse ou de cire. Il peut s'avérer nécessaire de prendre des précautions de sécurité particulières pour les travaux exécutés à des températures élevées.

2.6 Remplissage des dispositifs d'ancrage

Le remplissage des dispositifs d'ancrage pour la protection définitive des armatures de précontrainte est assuré par injection ou remplissage avec constatation de purge correcte par les événements de cire pétrolière telle que spécifiée dans l'ATE (ou ETE) et respectant les exigences du chapitre 7.2.6.2 du fascicule 65 du CCTG.

3 Précontrainte par barres

3.1.1 Armatures de précontrainte

Les armatures de précontrainte satisferont aux stipulations du Fascicule 4, Titre II du CCTG, à celles de la norme NF EN 13670/CN et de la norme NF EN 10138.

Les armatures de précontrainte prévues sont des barres de précontrainte en acier à haute résistance. Les barres sont lisses à filetage fin aux extrémités ou entièrement filetées.

L'Entrepreneur doit fournir les caractéristiques des barres de précontrainte, au moyen de la demande d'agrément du procédé.

Les caractéristiques de résistance et de comportement des barres sont données par la suite à titre indicatif :

- Contrainte nominale de rupture f_{prg} (ou f_{pk}) = 1 030 MPa
- Contrainte de la limite élastique f_{peg} ou $f_{p0.1\%}$ = 835 MPa

- La contrainte de mise en tension ne doit pas dépasser $\min(0,8 f_{pk} ; 0,9 f_{p0,1k})$ à condition que $f_{p0,1k} \geq 0,88 f_{pk}$. Si ce n'est pas le cas, la contrainte de mise en tension à ne pas dépasser est de $0,792 f_{pk}$.
- Rentrée d'ancrage = 0.7 mm
- Perte par relaxation à 1000h = 3 % (TBR)
- Module d'élasticité $E = 170\,000\text{ MPa}$

Nota : le recul d'ancrage considéré impose au minimum 2 mises en tension successives. Si la justification de l'équilibre des massifs exige un certain niveau de contrainte résiduelle dans les barres, l'Entrepreneur peut être amenée à faire trois mises en tension successives avec une reprise de tension au bout de 7 jours.

L'Entrepreneur effectuera les prélèvements conservatoires d'une barre par lot de livraison. Ces prélèvements seront envoyés au laboratoire du contrôle extérieur.

Une convenance doit être effectuée au démarrage des travaux à l'aide de capteurs de force.

3.1.1 Procédé

Conformément au 7.2.1 (1) de la norme NF EN 13670/CN, le système de précontrainte par barre doit bénéficier d'un agrément technique européen (ATE) ou d'une évaluation technique européenne (ETE) pour procédés de précontrainte par post-tension.

Par complément au 7.2.1 (2) de la norme NF EN 13670/CN, tous les éléments constitutifs du système de précontrainte doivent appartenir au même procédé (conduits, coupleurs et autres dispositifs de rabouillage, composants d'ancrage et accessoires, ...).

Pour l'application du 7.6.7 (1) de la norme NF EN 13670/CN, les ancrages sont protégés par un capot métallique équipé d'un joint d'étanchéité.

La protection contre la corrosion des capots métalliques est assurée par une galvanisation à chaud donnant au moins une garantie de 5 ans au degré Ri 3 selon les spécifications du fascicule 56 du CCTG.

Par ailleurs, tous les éléments d'ancrage non protégés par une injection, sont protégés par métallisation et par peinture de colmatage, appliquée en usine, à l'aide d'un système titulaire de la marque ACQPA-Systèmes anticorrosion par peinture.

Les éléments d'ancrage sont considérés comme appartenant à la catégorie 2 définie par l'article 1.3 du fascicule 56 du CCTG.

3.1.2 Injection des gaines et des dispositifs d'ancrage

Le remplissage des gaines et des dispositifs d'ancrage pour la protection définitive des armatures de précontrainte est assuré par injection :

- Soit d'un coulis à base de ciment conforme au 7.2.6.1 du fascicule 65 du CCTG et à la norme NF EN 447 ;
- Soit d'un cire pétrolière ou d'une graisse conforme au 7.2.6.2 du fascicule 65 du CCTG et à l'EAD 160027-00-0301.

4 Mise en œuvre

La mise en œuvre des armatures de précontrainte utilisées pour la construction de l'ouvrage doit respecter les exigences définies dans la norme NF EN 13670/CN et dans les chapitres 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 et 7.8 du Fascicule 65 du CCTG.

4.1 Mise en place des conduits, ancrages et armatures

4.1.1 Mise en place des conduits de précontrainte extérieure

(Chapitre 7.7.4.2 du fasc. 65 du CCTG)

L'Entrepreneur doit mettre en place un contrôle externe visant la soudure, l'assemblage et l'étanchéité des conduits PEHD. Elle doit remettre les rapports de ses contrôles interne et externe à la maîtrise d'œuvre et au contrôleur technique missionné par la maîtrise d'ouvrage.

Dans le cas d'injection au coulis, les appuis provisoires assurant le support des conduits avant mise en tension des câbles doivent être continus pour éviter tout festonnage dû au poids important du conduit injecté.

La tolérance sur la rectitude des conduits PEHD est de 1 à 2 mm/ml (ISO 4427-2).

La tolérance sur l'ovalisation du conduit PEHD est de 3 à 5% (ISO4427 / EN12201).

La continuité des conduits PEHD sera assurée en partie courante par manchon électro-soudé ou soudure en miroir. L'étanchéité du conduit PEHD sera également assurée par soudure miroir au niveau de la jonction des trompettes.

La soudure du conduit PEHD doit faire l'objet d'une épreuve de convenance.

Les raccords métalliques sont proscrits.

Pour l'application du 7.4.3 (1) de la norme NF EN 13670/CN, les conduits doivent être munis d'évents.

Les trous pour injection et les événements seront bouchés par soudure PEHD (raccordement événement/gaine, obturation de l'événement).

Pour assurer l'étanchéité parfaite du conduit PEHD et pour garantir la continuité et l'étanchéité de son assemblage sur toute la longueur du conduit, l'Entrepreneur doit mentionner dans sa procédure d'exécution les types de singularités ou défauts auxquels elle peut être confrontée avec les méthodes de mise en œuvre et réparations et les solutions qu'elle préconise pour obtenir un produit final conforme. Cette procédure est alors soumise à l'approbation de la maîtrise d'œuvre.

4.1.2 Calage des ancrages

Les supports seront en acier soudable pour béton armé, de nuance B235C ou B500B. Leur espacement sera adapté aux sollicitations prévisibles en cours d'exécution (poids du béton frais, poussée d'Archimède, vibration, poussées latérales éventuelles...). Il sera au maximum compris entre 0,50 m et 1 m pour les gaines rigides cintrables à la main, selon leur diamètre. Pour les tubes en acier laminé, cet espacement pourra être accru en fonction de la rigidité du tube et de son inclinaison.

4.1.3 Mise en place des ancrages et des coupleurs

4.1.3.1 Dispositif de fixation au coffrage

Les dispositifs de fixation des ancrages seront décrits en détail dans le PAQ, pour tous les types d'ancrages.

4.1.3.2 Protection contre la corrosion

Des précautions seront prises pour la protection contre la corrosion des différentes pièces en contact avec l'air ambiant et contre toute pénétration d'eau intempestive dans les conduites jusqu'à la mise en place des armatures.

4.1.3.3 Coupleurs

La mise en place des coupleurs sera effectuée conformément aux prescriptions du Fascicule 65.

Le couplage de plus de 50% des armatures de précontrainte dans une même section est interdit.

4.1.4 Mise en place des accessoires pour injection

4.1.4.1 Dispositions d'ensemble

En complément du § 7.7.3 du Fascicule 65, du §7.6 de la NF EN 13670/CN et de l'article 8.1 de la norme NF EN 446 :

- L'ensemble des dispositifs (pipes ou tubes d'injection, événements ou purges) utilisés seront décrits avec le mode et le phasage de leur mise en œuvre dans le Programme d'injection. Ils seront reportés sur les plans d'exécution, câblage et coffrage.
- Pour chaque emplacement proposé, l'Entrepreneur devra :

- Prévoir obligatoirement un événement à chaque point haut et des événements supplémentaires en début des parties descendantes de chaque côté du point haut ; prévoir obligatoirement des pipes d'injection supplémentaires aux points bas en cas de dénivelées supérieures à 1,50 m (cf. Fascicule 65 exemple C 2. 3 pour injection au coulis de ciment).
- Décaler d'environ 50 cm longitudinalement les événements des gaines de précontraintes intérieures trop proches l'une de l'autre (distance inférieure ou égale à un diamètre), pour éviter des communications possibles entre gaines.
- Mettre les événements à l'extérieur des courbures pour éviter leur obturation par les torons tendus.

4.1.4.2 Détails de mise en œuvre

- Les tubes d'injection et les événements porteront chacun de façon durable le numéro du câble auquel ils correspondent. Leur raccordement aux conduits devra rester étanche à la pression d'injection.
- Les tubes des événements sortant en extrados seront disposés bien verticalement pour pouvoir ne percer les gaines que juste avant l'injection afin de garantir une meilleure étanchéité, lors du bétonnage notamment. Si le tube ne pouvait sortir parfaitement droit, rendant le perçage de la gaine impossible après bétonnage, la gaine sera percée impérativement lors de la pose.
- Toutes les extrémités sont systématiquement obturées provisoirement pour éviter les infiltrations d'eau et les salissures.

4.1.5 Mise en place des armatures

4.1.5.1 Etat des armatures

- L'Entrepreneur devra s'assurer du bon état des armatures avant enfilage : absence de piqûres d'oxydation, de rayures, encoches ou autres défauts pouvant altérer la résistance mécanique.
Tout début d'enrouillement correspondrait au non-respect des prescriptions relatives à la continuité de la protection contre la corrosion.
- Un contrôle visuel des barres sera également effectué (cf. article 4.3 de la circulaire n°94-34 du 19 avril 1994 apportant des compléments à la réglementation et à l'utilisation des barres de précontrainte)

4.1.5.2 Renouvellement de la protection provisoire

En complément du Fascicule 65 article §7.3 :

Les produits appliqués sur les armatures, soumis à l'agrément du Maître d'Œuvre, devront pouvoir être éliminés avant l'injection (huile soluble par exemple). Ils seront renouvelés autant que de besoin, au minimum tous les mois.

On veillera plus particulièrement à la protection des zones voisines des ancrages où la protection provisoire aura pu être altérée localement lors de la mise en tension par l'effet de frottements.

Les dispositions suivantes seront prises pour protéger les armatures et le tablier contre les effets du gel :

- Empêcher l'eau d'entrer dans les gaines en les occultant provisoirement à l'aide de bouchons étanches;
- Empêcher l'eau de séjourner dans les gaines en disposant des purges aux points bas des gaines ;

- Empêcher l'eau de geler dans les gaines en utilisant les propriétés antigel de l'huile soluble : on injecte dans les gaines de l'huile soluble jusqu'à complet remplissage, puis on l'expulse par soufflage à l'air comprimé en la récupérant grâce aux purges situées aux points bas de gaines (on récupère environ 90 % de l'huile injectée à condition d'opérer par une température supérieure à 5° C ou de prendre soin de chauffer l'huile).

Aucun de ces types d'action mis en œuvre isolément ne peut être considéré comme efficace. L'Entrepreneur sera donc tenu de les mettre en œuvre tous les trois simultanément, pendant les périodes de risque de gel.

4.1.5.3 Mode d'enfilage

- Le mode d'enfilage des câbles mis en place après bétonnage devra être adapté à la longueur des câbles, à l'importance des déviations angulaires cumulées en élévation et en plan, au type et au rayon minimal des conduits ainsi qu'au nombre des joints traversés.
- Dans le cas où une procédure par poussage par toron proposé par l'Entrepreneur s'avérerait poser des problèmes à la mise en œuvre, le Maître d'œuvre se réserve le droit d'imposer l'enfilage par tirage des torons tous à la fois.
- Les câbles seront alors façonnés en atelier, ou sur une aire appropriée bien nettoyée du chantier si les conditions météorologiques le permettent.

4.1.5.4 Prescriptions particulières

- Les extrémités des torons devront être recouvertes soit de manchettes provisoires, soit de planches lorsqu'elles dépassent à proximité des passerelles ou escaliers utilisés par le personnel de chantier.
- Afin d'assurer la démontabilité ultérieure, les spécifications suivantes sont à respecter :
 - Longueur des torons : les torons devront avoir une sur-longueur suffisante pour permettre leurs détensions ou leur remise en tension ultérieure.
 - Capots de protection : des capots de protection (long côté ancrage actif et court côté passif), injectés à la cire seront mis en œuvre pour permettre la démontabilité des câbles.

4.1.6 Barres de précontrainte

Les dispositions de l'article 7.8 du Fascicule 65 du CCTG s'appliquent.

4.2 Mise en tension des armatures

En complément du §7.5 du Fascicule 65, du §7.5 de la NF EN 13670/CN, et de l'agrément de l'unité de précontrainte concernée :

4.2.1 Matériel de mise en tension

- L'Entrepreneur fournira l'ensemble des matériels et matériaux nécessaires à la réalisation correcte des opérations régulières de tarage de vérins et pour effectuer les mesures des coefficients de transmission lors des essais de contrôle prescrits par le présent fascicule.
- Les vérins seront livrés accompagnés de leurs certificats d'étalonnage ou seront étalonnés sur site.

- Les couples vérin/manomètre seront étalonnés toutes les cent mises en tension ou tous les trois mois au moyen d'un manomètre étalon.
- La mise en tension des unités courtes de précontrainte en forme de barre sera assurée par des vérins. Les clés dynamométriques sont proscrites. Il sera de plus procédé à 3 reprises de tension au minimum.

4.2.2 Condition de réemploi des armatures

En complément du § 7.5.3 du Fascicule 65 :

Les éléments (barres, câbles, ancrages, etc.) ayant servi à la précontrainte provisoire ou à des emplois antérieurs sur d'autres chantiers ne pourront être utilisés pour la précontrainte définitive.

4.2.3 Recépage

Le recépage ne pourra être effectué sans l'autorisation préalable du MOE, au vu des résultats portés sur la fiche de mise en tension visée par le CMP (Chargé de la mise en œuvre de la précontrainte).

Le recépage pourra alors être effectué par disque abrasif, après avoir interdit à toute personne de se tenir à l'arrière des ancrages du câble concerné.

4.2.1 Barres de précontrainte

Les dispositions de l'article 7.8 du Fascicule 65 du CCTG s'appliquent.

4.3 Protection des armatures mises en place

4.3.1 Protection provisoire des armatures

D'une façon générale, la protection définitive contre la corrosion des armatures de précontrainte par injection de leurs conduits devra être effectuée le plus rapidement possible après leur mise en tension.

Cependant, la continuité de leur protection provisoire devra être assurée entre leur mise en place et l'injection.

4.3.1.1 *Ouvrage en atmosphère agressive*

Sans objet.

4.3.1.2 *Condition de mise en œuvre et renouvellement*

En cas d'intempérie interdisant l'injection à la fin des délais fixés ci-dessus, ou en cas de nécessité de retarder au-delà de ces délais cette opération pour certaines familles de câbles afin d'éviter, par exemple, tout risque de remplissage par du coulis de gaines non encore utilisées (câbles non tendus), la protection devra être renouvelée toutes les quatre semaines.

Les produits de protection provisoire mis en œuvre sur chantier et leurs modalités de mise en œuvre seront spécifiés dans le Programme de Précontrainte du PMQ. Les compatibilités entre produits mis en œuvre à l'usine, produits mis en œuvre sur chantier et produits d'injection devront être assurés.

4.3.1.3 Dispositions particulières en période de gel

Les dispositions particulières en période de gel seront définies dans le PMQ. Y seront notamment précisées les conditions d'évacuation des eaux résiduelles qui auraient pu s'infiltrer et les moyens d'éliminer les bouchons de glace éventuels.

4.3.2 Protection définitive des armatures par coulis de ciment

En complément au §7.6.5 du Fascicule 65, du §7.6 de la NF EN 13670/CN et de la norme NF EN 446 :

4.3.2.1 Matériel de fabrication et d'injection du coulis

- Le matériel utilisé (y compris le matériel de rechange) sera décrit en détail dans le Programme d'Injection du PMQ.
- Il sera conforme à la NF EN 466 et choisi parmi ceux autorisés par l'agrément technique européen ; le matériel et la procédure de fabrication et d'injection doivent être agréés par le détenteur de l'ATE.
- Il est rappelé que la pompe d'injection devra être munie d'un dispositif limiteur de pression (cf. §7.3 de la NF EN 466). Cette pression ne devra pas dépasser le niveau précisé au PMQ pour chaque famille de câbles en fonction de ses caractéristiques géométriques, ce niveau étant au plus de 1,5 MPa cf. §7.6.5.1 du Fascicule 65.

4.3.2.2 Mode opératoire de l'injection

- Les câbles seront regroupés en familles isolées les unes des autres. Les moyens mis en œuvre pour assurer l'isolation des différentes familles de câbles seront décrits dans le Programme d'Injection du PMQ.
- Les gaines d'une même famille seront injectées gaine par gaine, sauf dans le cas où les essais de contrôles de l'étanchéité des conduits auront conclu à un risque de communication entre gaines, qui imposera alors une injection simultanée.
- Le remplissage des gaines effectué dans l'ordre prévu par le Programme d'Injection.
- Pour l'injection au coulis de ciment au bout d'un délai d'au moins une demi-heure qui pourra être cerné plus précisément durant les épreuves de convenance, il sera procédé à une reprise d'injection ou post-injection dont les modalités devront être définies dans le Programme d'Injection.

4.3.2.3 Condition de température

L'injection des câbles de précontrainte sera interdite lorsque la température du béton se situera en dehors de la plage de température d'utilisation indiquée dans l'Avis Technique.

Lorsque la température ambiante se situera en dehors de la plage d'utilisation recommandée par l'avis technique, le PMQ précisera les moyens à mettre en œuvre pour que la température du coulis avant injection soit maintenue dans cette plage.

4.3.3 Protection définitive des armatures par cire ou graisse

Le chapitre §7.6.6 du Fascicule 65 ainsi que l'article 7.6 de la NF EN 13670/CN s'appliquent.

4.3.4 Cachetage des ancrages

4.3.4.1 Cachetage en béton

Un soin particulier sera apporté aux reprises du béton devant servir de cachetage. Le béton ancien sera soigneusement repiqué et nettoyé ; toute trace de laitance, de graisse, ...sera éliminée. La surface de reprise sera enduite de résine époxy destinée à assurer une bonne adhérence entre les deux bétons. Le microbéton de cachetage sera étanche et à retrait compensé.

4.3.4.2 Cachetage définitif avec capot étanche

La protection définitive de la tête d'ancrage et de l'extrémité du câble est assurée par un capot fixé mécaniquement sur la plaque d'ancrage et muni d'un joint étanche. Ce capot métallique étanche fait l'objet d'une galvanisation à chaud ; il est rempli soit de coulis de ciment, soit de cire pétrolière, conformément aux prescriptions du Fascicule 65.

Les câbles à équiper seront répertoriés sur les plans d'exécution visés.

4.3.5 Démontabilité des câbles de précontrainte et étanchéité des têtes d'ancrage

(Guide SETRA – Précontrainte Extérieure) :

La démontabilité des câbles est demandée sans intervention traumatisante sur les massifs d'ancrage. Le conduit en PEHD, ou enveloppe interne, est destiné à confiner le produit d'injection. Il est complété par une enveloppe externe résultant de l'assemblage d'une trompette coffrante et d'un tube de réservation métallique traversant le massif d'ancrage. Dans le cas d'une mise en place d'un nouveau système d'ancrage sur une tromplaque existante (reprise d'ouvrage ancien avec gaine de passage et ancrage pour précontrainte additionnelle), un système d'adaptation pour le nouveau procédé de précontrainte sera à prévoir (tube coffrant notamment).

L'Entrepreneur doit aussi prendre des dispositions pour que la double enveloppe permette l'extraction de la tête d'ancrage et du câble :

- elle peut, par exemple, prolonger le conduit PEHD par un cône lié à la tête d'ancrage, logé à l'intérieur de la trompette ou de la tromplaque d'ancrage.
- elle peut utiliser, pour le cône intérieur, une trompette d'épanouissement en polyéthylène à haute densité, thermosoudée sur le conduit courant.

- elle peut aussi disposer un système de deux cylindres co-axiaux : le cylindre intérieur étant lié au conduit courant en PEHD et le cylindre extérieur, qui constitue la trompette d'ancrage, au tube de réservation.

Le procédé doit assurer une parfaite étanchéité entre la tête d'ancrage et le conduit prolongé par sa trompette d'épanouissement où est logé le câble. Il doit éviter que le coulis d'injection pénètre entre les deux enveloppes, rendant l'extraction difficile ou impossible.

En cas de défaut de réalisation attestée par des essais de convenance, l'Entrepreneur propose une procédure de reprise ou de mise en conformité sous sa responsabilité.

5 Management de la qualité

5.1 Organisation – contenu des procédures d'exécution

La description de l'organisation et les procédures d'exécution font partie intégrante du PMQ de l'Entrepreneur soumis au visa du Maître d'œuvre.

5.1.1 Missions et compétences du CMP

La mise en tension des armatures (torons) et des barres (de clouage) de précontrainte est effectuée sous la direction d'un responsable spécialement qualifié, dit CMP (Chargé de mise en précontrainte).

Le PAQ de l'entreprise comporte dans son article consacré à l'organisation du chantier :

- la mention de l'origine et des références du personnel responsable des opérations de mise en œuvre de la précontrainte longitudinale et des barres de clouage,
- la désignation du CMP.

Les compétences du CMP permettent au moins :

- l'exécution de la précontrainte dans le respect des prescriptions des procédés (précontrainte longitudinale et barres de clouage),
- la direction de la mise en œuvre de la précontrainte,
- le contrôle du matériel et de la résistance requise pour le béton,
- l'établissement des attestations de contrôle,
- l'établissement des fiches de mise en tension,
- la direction de la coupe des armatures derrière l'ouvrage,
- la direction de la mise en œuvre de la protection définitive,
- la responsabilité des fiches de non-conformité.

La qualification du CMP (Chargé de la mise en œuvre de la précontrainte) devra être justifiée par l'Entrepreneur par l'attestation de son inscription sur la liste des CMP agréés par le distributeur du procédé de précontrainte, déposée au secrétariat de la CIP.

Outre l'ensemble des missions définies au Fascicule 65, le CMP aura la responsabilité de la mise en œuvre de toutes les dispositions destinées à assurer la continuité de la protection contre la corrosion des armatures, des dispositifs d'ancrage et des conduits.

5.1.2 Programme de précontrainte

Le Programme de Précontrainte regroupera l'ensemble des procédures d'exécution relatives aux différentes phases de mise en œuvre de la précontrainte.

5.1.2.1 Programme de réception et de mise en place des unités de précontrainte

- Ce programme décrira les installations de chantier prévues pour la réception et le stockage des conduits, des armatures et des dispositifs d'ancrage. Les conditions du maintien ou du renouvellement éventuel de la protection provisoire contre la corrosion seront clairement précisées.
- Une procédure de pose des conduits et des dispositifs d'ancrage décrira les modes de manutention, de mise en place et de fixation en traitant en détail les problèmes de raccordement et de prévention contre les infiltrations d'eau.
- Une procédure de mise en place des armatures définira les modalités de leur enfilage et de leur protection contre la corrosion.

5.1.2.2 Programme de mise en tension

- Une procédure de mise en tension décrira en détail le matériel utilisé et les différentes opérations successives : vérifications préalables, mise en tension des têtes et mors d'ancrage, mise en place des vérins de tension, phasage des mises en tension des armatures, par un ou deux extrémités dans le cas des câbles.
- Les consignes relatives aux opérations de mise en tension proprement dites seront définies.
- Un cahier des mises en tension récapitulera les résultats des calculs de longueurs des armatures entre ancrages et des allongements théoriques en fin de mise en tension. Il précisera les surlongueurs des câbles à l'enfilage nécessaires pour leur mise en tension, ainsi que les longueurs minimales à ne pas recéper derrière les ancrages de câbles provisoires pour permettre leur détention, conformément au présent fascicule.
- La note de calcul des allongements jointes en annexe au cahier des mises en tension sera établie en précisant clairement les points suivants de façon à établir sans équivoque la relation entre calculé et mesuré :
 - Les hypothèses et donc tous les éléments pris en compte dans le calcul de l'allongement théorique,
 - Le processus de mesure de l'allongement sur chantier, et donc tous les termes devant faire l'objet de mesures directes et systématiques.
- Une procédure de réalisation des mesures des coefficients de transmission.

5.1.2.3 Programme d'injection des conduits de précontrainte

- Les modalités des essais de contrôle de l'étanchéité des conduits réalisés au préalable seront définies et justifiées dans le détail.
- Au démarrage des études détaillées d'exécution du tablier, l'Entrepreneur complétera ses propositions techniques par un programme d'injection, intégrant les opérations de protection provisoire après mise en tension et établi conformément au Fascicule 65, précisé et complété comme suit.

Ce programme décrira de manière précise et détaillée :

- Le matériel utilisé pour la fabrication du coulis, pour son acheminement jusqu'à l'entrée des conduits et pour l'injection proprement dite,

- Les étapes successives des opérations d'injection, en indiquant les branchements à effectuer et les pressions à appliquer,
- Les modalités des reprises d'injection prescrites par le présent fascicule.

5.2 Définition des contrôles

L'ensemble des contrôles définis ci-après relèveront du contrôle interne de l'Entrepreneur supervisé par le CMP sauf dans le cas d'une prescription explicite contraire.

Des fiches de contrôle constitueront la trace de la réalité de ces contrôles. Ces fiches devront être constamment tenues à la disposition du Maître d'œuvre sur le chantier jusqu'à la fin des travaux, ou lui être transmises dans les cas où il les demande.

5.2.1 Contrôles de la réception à la mise en place des unités de précontrainte

5.2.1.1 Contrôle de réception des unités de précontrainte

En complément du Fascicule 4 Titre II Article 5 :

- Identification des lots d'armatures, dispositifs d'ancrage et accessoires.
- Examen de leur état réel (absence de rouille, etc.).
- Vérification du bordereau de livraison et du certificat de conformité aux spécifications.

Les fiches de réception établies seront remises pour information au Maître d'œuvre, tout comme le bordereau de livraison de chaque lot d'armatures accompagné des deux diagrammes « effort/déformation » relatifs au contrôle en usine du lot de production correspondant.

5.2.1.2 Contrôle des conditions de stockage et de la protection provisoire

- L'Entrepreneur procédera au moins une fois par mois à une visite de vérification de l'état des armatures. Elle sera suivie d'un compte-rendu écrit adressé pour information au Maître d'œuvre.
- Au cas où les constats visés ci-dessus feraient apparaître que les conditions de stockage des armatures de précontrainte ne sont pas satisfaisantes, l'Entrepreneur sera tenu d'y remédier au plus tôt.

Les armatures qui présenteraient des piqûres, rayures ou encoches seront rebutées et transportées hors du chantier. Les débuts d'enrouillement ne pourront être tolérés que s'ils peuvent être effacés complètement par simple nettoyage au chiffon sur toute la longueur de l'armature, avant application d'une nouvelle protection.

5.2.1.3 Contrôle de la mise en place des conduits et des accessoires d'injection

Les contrôles de la mise en place des conduits de précontrainte et des accessoires d'injection en usine de préfabrication, effectués avant bétonnage, consisteront à vérifier le respect des tolérances de positionnement,

la solidité des fixations, l'étanchéité des raccords, la présence et le bon emplacement des tubes et événements d'injection (numérotation), ...

5.2.1.4 *Contrôle de la mise en place des armatures*

- Le bon état de surface, l'absence de déformations résiduelles après déroulement des couronnes de torons et la qualité de la protection anticorrosion seront vérifiés avant enfilage des câbles.
- L'Entrepreneur veillera également au respect des surlongueurs minimales spécifiées dans le cahier des mises en tension.

5.2.2 Contrôles des mises en tension

5.2.2.1 *Contrôles préalables aux mises en tension*

- Tarage des vérins, étalonnage et vérification des manomètres avec procès-verbaux joints aux fiches de contrôle.
- Vérification de la résistance du béton suivant, d'une part, les indications l'évaluation technique européenne du système de précontrainte et, d'autre part, les notes de calcul d'exécution.
- Vérification de l'état du matériel de mise en tension.
- Vérification de la propreté des surlongueurs de toron avant enfilage des vérins pour permettre l'accrochage des clavettes de traction dans des conditions correctes.

5.2.2.2 *Contrôle des mises en tension proprement dites*

Le contrôle consistera à vérifier à différents paliers la concordance entre les relevés simultanés des pressions et allongements et les valeurs calculées correspondantes.

Pour chaque câble, l'Entrepreneur renseignera la fiche de mise en tension, les mesures d'allongement étant faites avec une précision d'un millimètre, pour chaque palier de montée en pression de 10 MPa avec palier obligatoire à la pression d'alerte.

5.2.2.3 *Mesures des coefficients de transmission*

(chapitre 7.5.2.6 et annexe C1.2 du fasc. 65 du CCTG, annexe C du fasc. 65 du CCTG).

L'Entrepreneur procède à sa charge, en tant qu'épreuves de contrôle intérieur, à des mesures du coefficient de transmission dont l'étendue sera déterminée en concertation avec le Maître d'œuvre.

Le laboratoire chargé des mesures est soumis à l'approbation du maître d'œuvre. Les mesures des coefficients de transmission feront aussi l'objet d'un contrôle extérieur.

5.2.3 Contrôles préalablement à l'injection

Pour tout ce qui concerne la protection des armatures de précontrainte par du coulis de ciment, les spécifications des normes NF EN 445, NF EN 446 (avec classe d'inspection 3) et NF EN 447 sont d'application, en compléments de celles du §7.2.6 du fascicule 65 et du §7.6 de la norme NF EN 13670/CN (avec classe d'exécution 3).

Pour la protection des armatures de précontrainte par graisse ou cire pétrolière les spécifications du §7.2.6 du fascicule 65 et du §7.6 de la norme NF EN 13670/CN et la EAD 160027-00-0301 sont d'application.

5.2.3.1 *Contrôle de la protection provisoire des armatures après mise en place*

L'Entrepreneur s'assurera de la continuité de la protection des armatures contre la corrosion après leur mise en tension, jusqu'à la protection définitive, en veillant à empêcher les infiltrations d'eau et en procédant au renouvellement de la protection si les délais spécifiés dans le présent livret sont dépassés. Il sera établi des fiches de suivi de la protection des câbles.

5.2.3.2 *Contrôle de l'étanchéité des conduits*

La vérification de l'étanchéité des gaines sera exécutée sous vide d'air. Les essais d'étanchéité des conduits sous pression d'eau sont interdits.

Les communications et fuites éventuelles seront repérées et colmatées avant de recommencer l'essai jusqu'à supprimer toute fuite significative.

5.2.3.3 *Epreuve de convenance du coulis*

En complément au §7.6.5 du Fascicule 65 :

Cette épreuve sera réalisée par l'Entrepreneur dans le cadre de son contrôle externe au plus tard vingt-quatre heures avant le début des injections.

5.2.4 **Contrôles en cours d'injection**

Des épreuves de contrôle comportant des mesures de la fluidité et de l'exsudation sur le coulis prélevé à la fabrication et à la sortie des conduits seront effectuées.

Il conviendra de contrôler systématiquement la consistance du coulis à la sortie de tous les événements et, en cas de doute, les capots d'ancrages seront démontés. Cette disposition s'applique plus particulièrement à l'injection de câble de précontrainte.

5.2.5 **Contrôle de remplissage des conduits de précontrainte**

L'Entrepreneur procède à sa charge, dans le cadre de son contrôle intérieur, au contrôle du remplissage des conduits après chaque injection :

- Par thermographie infra-rouge. La démarche consiste à produire des images à partir de radiations thermiques invisibles. De ce fait, la thermographie infrarouge est un moyen instantané de détection des zones à problèmes, elle met en évidence des défauts que les méthodes plus conventionnelles ne peuvent déceler.
- Par auscultation sonore détectant un vide (plutôt pour des défauts graves de remplissage). Au préalable des tests seront à faire pour choisir le type de marteau à retenir : bois, caoutchouc, métallique.

Si un défaut probant de remplissage des gaines est constaté par le Maître d'œuvre, la réparation pourra aller jusqu'au changement complet du câble suivant la gravité du défaut. Dans ce cas, l'Entrepreneur ne pourra prétendre à une rémunération supplémentaire liée au changement du câble.