FERCA

PT·M

CLAUSES TECHNIQUES GÉNÉRALES

PRÉCONTRAINTE

FERCA

SOMMAIRE

1 MATÉRIAUX 2

1.1 CONSTITUANTS DES MORTIERS ET COULIS 2

1.1.1 ADJUVANTS 2

1.2 ACIERS POUR ARMATURES 2

1.2.1 ACIER DE PRÉCONTRAINTE 2

1.3 GAINES, COULIS D'INJECTION ET ANCRAGES DE PRÉCONTRAINTE 3

1.3.1 GAINES POUR ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE 4

1.3.1.1 PRÉCONTRAINTE ADHÉRENTE 4

1.3.1.2 PRÉCONTRAINTE NON ADHÉRENTE PAR MONOTORONS 5

1.3.2 ANCRAGES ET CLAVETTES DE PRÉCONTRAINTE 5

1.3.3 COULIS DE CIMENT POUR L'INJECTION DES GAINES 6

2 EXÉCUTION DES TRAVAUX 7

2.1 PRÉCONTRAINTE 7

2.1.1 GÉNÉRALITÉS 7

2.1.2 PRÉPARATION ET MISE EN PLACE DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE 9

2.1.3 GAINES DES CÂBLES DE PRÉCONTRAINTE 9

2.1.4 ANCRAGES DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE 10

2.1.5 MISE EN TENSION DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE 11

2.1.6 INJECTION DES GAINES DE PRÉCONTRAINTE 12

2.1.6.1 CONTRÔLE QUALITÉ 13

2.1.7 PROTECTION DES ANCRAGES DES CÂBLES ET BARRES DE PRÉCONTRAINTE 13

2.1.7.1 CACHETAGE DES ANCRAGES 13

2.1.7.2 CAPOTS DE PROTECTION 13

2.1.7.3 NIVEAUX DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION 14

2.1.8 DALLES EN PRÉCONTRAINTE NON ADHÉRENTE (MONOTORONS) 14

3 MODE DE MÉTRÉ 14

3.1 ACIER DE PRÉCONTRAINTE 14

1 MATÉRIAUX

1.1 CONSTITUANTS DES MORTIERS ET COULIS

1.1.1 ADJUVANTS

Les adjuvants incorporés aux bétons pour améliorer ou maintenir l'ouvrabilité, réduire l'eau de gâchage, augmenter la résistance ou à d'autres fins, telles que l'accélération ou le retard de prise, ne doivent pas contenir de constituants nuisibles en quantités susceptibles d'altérer la durabilité du béton ou de provoquer la corrosion des armatures.

- Ils doivent être conformes à la norme applicable, à savoir la NP EN 934-2 « Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 2 : Adjuvants pour béton – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage ».
- Le maintien de l'ouvrabilité doit être soigneusement vérifié au regard des délais de mise en œuvre prévus, afin de limiter le risque de reprises de bétonnage non prévues.
- Les conditions et la durée maximale de stockage des adjuvants doivent respecter les prescriptions du fabricant. À défaut, des essais doivent démontrer que les caractéristiques spécifiées et vérifiées des adjuvants ont été conservées.
- Leur efficacité doit être soigneusement vérifiée au regard de la consistance requise et du rapport E/C maximal admissible.
- Ils doivent être incolores ou de teinte claire, afin de ne provoquer ni coloration ni oxydation ultérieure.

En cas de doute sur les caractéristiques des adjuvants utilisés ou sur leur compatibilité avec les autres constituants du béton, le Maître d'œuvre peut faire réaliser les essais qu'il juge nécessaires.

L'Entrepreneur doit compléter les informations relatives aux adjuvants par des essais sur l'évolution de l'ouvrabilité des bétons pendant la première heure et sur leurs résistances à 3, 7 et 28 jours, afin de fournir au Maître d'œuvre les éléments nécessaires à l'acceptation de leur emploi.

Les adjuvants utilisés dans les coulis d'injection de précontrainte doivent être exempts de chlorures et d'aluminium.

1.2 ACIERS POUR ARMATURES

1.2.1 ACIER DE PRÉCONTRAINTE

L'acier de précontrainte doit être conforme à la section 3.3 de la NP EN 1992-1-1 et à son Annexe Nationale, aux Spécifications LNEC applicables et, dès sa publication, à l'EN 10138. Pour les armatures non adhérentes, les dispositions de l'Évaluation Technique Européenne (ETE) du procédé de précontrainte retenu s'appliquent également.

Tout acier disponible sur le marché peut en principe être utilisé, à condition qu'il soit de provenance reconnue et que ses caractéristiques mécaniques, conformes à celles exigées par le procédé de précontrainte retenu, soient dûment certifiées par des documents d'agrément du pays d'origine.

Seuls des aciers à très basse relaxation seront utilisés, et leurs caractéristiques ne pourront en aucun cas être inférieures à celles fixées par les spécifications applicables.

Les caractéristiques des aciers certifiés sont celles définies par les Spécifications LNEC suivantes :

- E 452-2004 : Fils d'acier pour précontrainte – Caractéristiques et essais ;
- E 453-2002 : Torons d'acier pour précontrainte – Caractéristiques et essais ;
- E 459-2002 : Barres d'acier pour précontrainte – Caractéristiques et essais.

Il convient de s'assurer que les aciers utilisés satisfont à la fois aux caractéristiques retenues dans le projet et à celles exigées par le procédé de précontrainte retenu.

Les aciers de précontrainte doivent être livrés en satisfaisant à l'ensemble des exigences des Spécifications LNEC précitées.

Chaque lot d'acier sera livré avec ses diagrammes contrainte-déformation et les résultats des autres essais d'usine attestant ses propriétés, le module d'élasticité devant être clairement indiqué. Ces essais et justificatifs seront conformes à la norme applicable au type d'acier utilisé.

Si le Maître d'œuvre l'estime nécessaire, des essais de réception seront réalisés pour vérifier les caractéristiques mécaniques et technologiques des aciers, conformément aux Spécifications LNEC précitées.

Seuls les lots d'acier déjà essayés ou acceptés par le Maître d'œuvre pourront être mis en œuvre.

Les essais d'identification éventuellement prescrits par le Maître d'œuvre seront réalisés conformément à la norme EN ISO 15630.

Lorsque les aciers sont transportés et livrés en couronnes, le diamètre de celles-ci doit être tel que les torons ne présentent aucune déformation au déroulage. En tout état de cause, le diamètre intérieur des couronnes ne peut être inférieur à 200 fois le diamètre du fil le plus gros du toron.

Toutes les précautions nécessaires seront prises lors du transport et du stockage pour éviter la corrosion et la contamination des aciers.

Tout stockage sur chantier de plus d'un mois donnera lieu à une vérification périodique de l'état des aciers et au renouvellement, si nécessaire, de la protection provisoire.

Toutes les couronnes d'acier seront clairement identifiées par le fournisseur, porteront une étiquette « essayé » et ne sortiront du stock que pour être mises en œuvre. Celles qui ne sont pas utilisées y seront immédiatement retournées.

1.3 GAINES, COULIS D'INJECTION ET ANCRAGES DE PRÉCONTRAINTE

Pour les gaines, ancrages et accessoires, lubrifiants, cires et autres produits de précontrainte, ainsi que pour l'ensemble des opérations associées, on appliquera les règles de la NP EN 13670 et de l'ETE du procédé de précontrainte retenu.

1.3.1 GAINES POUR ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE

1.3.1.1 PRÉCONTRAINTE ADHÉRENTE

Les gaines seront nervurées, conformes à la NP EN 523 et à la NP EN 1992-1-1, et essayées selon la NP EN 524 (parties 1 à 6).

Les épaisseurs minimales du feuillard constituant les gaines sont les suivantes, en fonction de leur diamètre intérieur :

- $\phi_i \leq 55$ mm - ép. min = 0,31 mm
- $55 < \phi_i \leq 65$ mm - ép. min = 0,45 mm
- $65 < \phi_i \leq 110$ mm - ép. min = 0,53 mm
- $110 < \phi_i$ mm - ép. min = 0,60 mm

Le diamètre extérieur des gaines est le suivant, en fonction de leur diamètre intérieur :

- $\phi_i < 65$ mm - $\phi_e = \phi_i + 5$ mm
- $\phi_i > 65$ mm - $\phi_e = \phi_i + 7$ mm

Les gaines et accessoires seront accompagnés d'un certificat du fabricant indiquant leurs caractéristiques et conditions d'emploi.

Les essais de réception suivants seront réalisés :

- Flexibilité

Les gaines doivent supporter, sans aucune altération, trois flexions alternées selon les rayons de courbure du projet.

- Résistance à l'écrasement

Un tronçon de gaine d'environ 1,00 m de longueur est posé sur un support rigide ; on applique sur la génératrice supérieure, entre deux nervures, au moyen d'un poinçon à extrémité semi-circulaire de 12 mm de diamètre, l'effort indiqué ci-après en fonction du diamètre intérieur de la gaine.

ϕ	F (kg)
25 à 75	75
75 à 85	90
85 à 95	105

La gaine doit résister à l'application de ces efforts.

- Étanchéité

Pour l'essai de perte d'eau, le même échantillon est rempli d'eau jusqu'à une pression intérieure de 0,5 bar maintenue pendant 5 minutes ; la perte d'eau ne doit pas dépasser 1,5 % du volume du tube.

Le Maître d'œuvre se réserve le droit de faire essayer aux frais de l'Entrepreneur, pour chaque type de gaine, des échantillons des différents lots livrés sur chantier, jusqu'à une longueur totale de 50 m, afin de vérifier que les matériaux, les dimensions et les caractéristiques respectent les qualités et tolérances spécifiées.

1.3.1.2 PRÉCONTRAINTE NON ADHÉRENTE PAR MONOTORONS

Les torons seront protégés par une gaine en polyéthylène haute densité (PEHD) d'au moins 1 mm d'épaisseur, extrudée à chaud sur le toron préalablement enduit de graisse ou de cire de protection, conformément à l'ETE du procédé délivrée sur la base du DEE 160004-00-0301, le produit de remplissage étant conforme au DEE 160027-00-0301.

Les gaines doivent être suffisamment résistantes pour ne pas être endommagées lors du transport, de la manutention et de la mise en œuvre.

1.3.2 ANCRAGES ET CLAVETTES DE PRÉCONTRAINTE

Le procédé de précontrainte proposé par l'Entrepreneur et accepté par le Maître d'œuvre doit bénéficier d'une Évaluation Technique Européenne (ETE) en cours de validité, délivrée sur la base du DEE 160004-00-0301 – Post-tensioning kits for prestressing of structures (qui remplace l'ETAG 013), ainsi que d'une Déclaration des Performances et du marquage CE.

Les ancrages et clavettes doivent être d'origine et accompagnés de leurs spécifications (nuances des matériaux, dimensions et tolérances), des certificats de qualité et de contrôle de production, ainsi que des documents d'agrément.

Aucun composant ne sera accepté s'il n'a pas été fabriqué soit dans l'usine certifiée au titre de l'ETE applicable, soit dans une autre usine désignée par le détenteur du procédé et certifiée à cet effet par un organisme notifié.

Dans tous les cas, le Maître d'œuvre peut faire essayer dans un laboratoire accrédité, avant et pendant les travaux, les composants de son choix, afin d'en contrôler la qualité et de vérifier le maintien des caractéristiques figurant dans les documents d'agrément. Ces composants seront prélevés de façon aléatoire par le Maître d'œuvre parmi ceux livrés sur chantier ; les essais seront à la charge de l'Entrepreneur dans la limite de 5 % du nombre de têtes d'ancrage de chaque type et de 2 % du nombre de clavettes.

Les essais au-delà de cette limite seront à la charge de l'Entrepreneur si les résultats ne sont pas satisfaisants.

Dans le cas contraire, ils seront réglés par le Maître d'ouvrage dans les conditions fixées par le Cahier des Clauses Administratives.

Les essais de conformité éventuellement prescrits par le Maître d'œuvre seront réalisés conformément au DEE 160004-00-0301 précité et au plan de contrôle de l'ETE du procédé.

Chaque lot d'ancrages livré sur chantier, accessoires compris, sera identifié et numéroté en présence du Maître d'œuvre.

Chaque lot sera accompagné des documents justifiant sa provenance et son contrôle qualité.

1.3.3 COULIS DE CIMENT POUR L'INJECTION DES GAINES

Les coulis de ciment pour l'injection des gaines de précontrainte sont soumis aux règles de la NP EN 445 – Coulis pour câbles de précontrainte – Méthodes d'essai, et de la NP EN 447 – Coulis pour câbles de précontrainte – Prescriptions pour les coulis courants. Les procédures d'injection suivront la NP EN 446 et les adjuvants pour coulis la NP EN 934-4.

Coulis colloïdal ou pâte de ciment, dont la formulation est établie par essais, avec les ajustements nécessaires – également déterminés par essais – des dosages en eau et en plastifiant en fonction de la température et de la longueur des câbles à injecter.

Après études détaillées, l'Entrepreneur soumettra à l'approbation du Maître d'œuvre la formule nominale du coulis, en précisant :

- la nature, la qualité et l'origine des constituants ;
- le dosage pondéral de chaque constituant, avec les tolérances admissibles ;
- l'ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur.

En tout état de cause, le rapport eau/ciment sera le plus faible possible compatible avec une ouvrabilité adéquate et ne devra pas dépasser 0,40.

Le ciment, de type CEM I conforme à la NP EN 197-1, livré en sacs, de classe 42,5 ou 52,5, doit en outre, au-delà des normes applicables :

- ne présenter aucun phénomène de fausse prise ;
- avoir une teneur en ions chlorure inférieure à 0,05 % ;
- ne contenir ni ions sulfure ni aucun autre élément susceptible de corroder l'acier.

L'Entrepreneur proposera la marque d'adjuvant qu'il entend utiliser, conformément au chapitre relatif aux adjuvants, accompagnée d'un certificat d'origine indiquant la date limite d'utilisation ; il est entendu que cet adjuvant ne doit contenir aucun produit corrosif pour l'acier, tel que chlorures ou aluminium.

Outre la Spécification LNEC E 372, l'eau de gâchage doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Chlorures (Cl^-) < 500 mg/l ;
- Sulfates (SO_4^{2-}) < 400 mg/l ;
- Absence de détergents.

Pour l'ensemble des constituants (ciment, eau et adjuvant), la teneur globale en ions agressifs sera inférieure à :

- 0,1 % de la masse de ciment en ions Cl^- ;
- 0,1 % de la masse de ciment en ions SO_4^{2-} ;
- traces d'ions S^{2-}.

Les tolérances de dosage sont les suivantes :

- ± 2 % sur la masse de ciment ;
- ± 1 % sur la masse d'eau ;

- ± 2 % sur la masse d'adjuvant.

Les essais seront réalisés selon la NP EN 445 et leurs résultats devront satisfaire aux exigences de la NP EN 447.

- Le mélange sera formulé en fonction des conditions locales et des conditions réelles d'injection afin d'obtenir une bonne fluidité, qui sera systématiquement contrôlée au cône de Marsh. Le temps d'écoulement au cône doit rester inférieur à 25 secondes pendant au moins 30 minutes après la fabrication du coulis, ou jusqu'à la fin de l'injection.
- Le ressuage du coulis, déterminé selon la NP EN 445, ne doit pas dépasser 0,3 % à trois heures, toute l'eau ressuée devant être réabsorbée en vingt-quatre heures.
- La variation de volume du coulis, mesurée sur éprouvettes cylindriques, doit être comprise entre −1 % et +5 %. En cas d'emploi d'agents expansifs, aucune diminution de volume n'est admise. Le temps de début de prise à 30 °C doit, en toutes circonstances, être supérieur à 3 heures.

Des essais systématiques de résistance à 3, 7 et 28 jours seront réalisés pour vérifier la résistance exigée et ajuster la formule du coulis. Chaque essai portera, pour chaque gâchée, sur au moins un lot de trois éprouvettes, le Maître d'œuvre pouvant augmenter le nombre de lots par gâchée.

- La résistance à la compression à 28 jours ne pourra être inférieure à 50 MPa.

2 EXÉCUTION DES TRAVAUX

2.1 PRÉCONTRAINTE

Pour l'exécution des travaux de précontrainte, on appliquera les règles de la NP ENV 13670-1, des Évaluations Techniques Européennes (ETE) du procédé retenu et de la NP EN 1992-1-1 et de son Annexe Nationale.

2.1.1 GÉNÉRALITÉS

Au moins soixante jours avant le début de la mise en place des câbles, l'Entrepreneur soumettra à l'approbation du Maître d'œuvre le ou les procédés de précontrainte qu'il entend utiliser.

Cette proposition comprendra une description détaillée du procédé, ses documents d'agrément, les certificats de garantie, l'indication des organismes chargés des contrôles qualité, l'origine de tous les composants et une description précise – avec plans à échelle adaptée – de la géométrie des pièces, des dimensions, des nuances des matériaux, des tolérances, etc.

L'Entrepreneur remettra également les procédures de mise en tension et d'injection du procédé proposé, ainsi que l'indication des aciers de précontrainte prévus, leur provenance, leurs certificats de qualité, leurs caractéristiques et tout autre document permettant d'apprécier leur adéquation à l'usage prévu.

Le Maître d'œuvre se réserve le droit d'exiger des informations complémentaires et de refuser le procédé proposé, l'origine de tout ou partie de ses composants ou les organismes chargés de leur contrôle qualité.

L'Entrepreneur joindra à sa proposition la liste du personnel qui exécutera les travaux, avec sa qualification et son expérience professionnelle.

Il fournira également la liste du matériel prévu et du matériel de réserve, lequel restera en permanence sur le chantier et ne pourra en aucun cas être utilisé sur d'autres chantiers.

Le Maître d'œuvre se réserve le droit d'accepter le personnel comme le matériel.

Les derniers certificats d'étalonnage vérin-pompe, établis par un laboratoire accrédité et datant de moins de 6 mois, seront présentés. Ces étalonnages seront ensuite renouvelés selon la même périodicité.

L'entreprise de précontrainte doit disposer du matériel nécessaire pour effectuer ce contrôle sur chantier.

Une fois le procédé de précontrainte accepté, l'Entrepreneur s'engage à soumettre à l'approbation du Maître d'œuvre, au plus tard 60 jours avant le début de la mise en place des câbles, les études d'exécution de la précontrainte.

Ces études respecteront le présent cahier des charges et l'Eurocode 2, tant pour les données générales de calcul que pour les dispositions constructives, notamment : contraintes, pertes, rentrée d'ancrage, nombre de câbles par élément, disposition et groupement des gaines, enrobages, espacements minimaux, courbures admissibles et ancrages.

Chaque étude comprendra les pièces suivantes :

- Pièces écrites :
    - Note de présentation - Description générale du procédé, des caractéristiques des matériaux et de l'exécution des travaux.
    - Note de calcul - Description des formules utilisées pour déterminer la précontrainte utile finale, avec le calcul des contraintes initiales et finales dans l'acier, des pertes de précontrainte (instantanées, par rentrée d'ancrage et différées), des valeurs de précontrainte initiale et finale aux différentes phases dans les sections d'étude du projet, des forces à appliquer aux câbles, des allongements prévus et des armatures de frettage.
    - Programme de mise en tension - Succession des phases de mise en tension, matériel nécessaire pour chaque phase, ordre de mise en tension des câbles et extrémités actives, allongements et tolérances, pressions correspondantes aux manomètres, contrainte maximale à ne pas dépasser et valeurs de rentrée d'ancrage.
    - Documentation – Certificats de contrôle qualité des composants et des aciers de précontrainte, diagrammes contrainte-déformation et de relaxation de chaque couronne d'acier utilisée sur le chantier, ainsi que leurs modules d'élasticité.
    - Pièces graphiques – Tracés des câbles, armatures de frettage, détails des ancrages, dimensions des niches d'ancrage et tous autres détails nécessaires à la parfaite compréhension et exécution des travaux.

Si le Maître d'œuvre l'exige, il sera remis un exemplaire, choisi par lui, de chaque système d'ancrage et un échantillon de chaque type de gaine utilisé ; ils resteront en sa possession jusqu'à la fin des travaux à titre d'échantillons témoins.

Les plans d'exécution du projet définissent les tracés moyens des câbles, les sections d'ancrage, la précontrainte utile finale dans les sections déterminantes, les sections minimales d'acier de précontrainte admissibles pour la nuance spécifiée et toutes autres indications nécessaires. Ainsi, même si des différences de détail existent et si

les câbles ne suivent pas exactement les tracés du projet en fonction du procédé retenu, la résultante de l'ensemble (axe moyen de précontrainte) doit coïncider avec les axes du projet, et toutes les autres contraintes figurant sur ces plans doivent être respectées. Toute modification nécessaire pour des raisons propres au procédé sera dûment justifiée dans l'étude de précontrainte, le Maître d'œuvre décidant de son acceptation ou de son refus.

Les travaux de précontrainte seront exécutés par une entreprise spécialisée, détentrice de l'ETE du procédé ou autorisée par celui-ci, l'entreprise et son personnel étant qualifiés conformément au CWA 14646 – Requirements for the installation of post-tensioning kits for prestressing of structures and qualification of the specialist company and its personnel. Le responsable technique et le chef d'équipe seront présents en permanence sur le chantier pendant les opérations de mise en tension et d'injection.

2.1.2 PRÉPARATION ET MISE EN PLACE DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE

Les armatures seront coupées par moyens mécaniques ; l'usage du chalumeau est interdit.

Tout travail de soudage à proximité des câbles est interdit, sauf précautions particulières de protection de ceux-ci.

Le cintrage des armatures n'est autorisé que par des procédés dûment agréés, réalisé mécaniquement, à vitesse constante et sans chocs, de manière à donner aux câbles un rayon de courbure uniforme. Le diamètre du mandrin de cintrage ne sera jamais inférieur au diamètre minimal admis par le document d'agrément des aciers. Tout décintrage ou redressage des armatures est interdit.

À proximité des ancrages et des coupleurs, ainsi qu'à l'intérieur des dispositifs de mise en tension et d'ancrage, les armatures seront rectilignes sur une longueur dépendant du type d'armature et du procédé retenu.

Seront refusées les armatures endommagées, notamment celles présentant de la corrosion, des entailles, des traces d'échauffement au chalumeau ou de projections, ou des déformations importantes non prévues au projet.

Les armatures doivent être exemptes de matières étrangères ; leur emploi est interdit si elles présentent des traces d'huile, de graphite, de détergents ou de tout autre film réduisant l'adhérence.

Les armatures suivront les tracés du projet approuvé et devront être fixées efficacement afin de ne pas se déplacer accidentellement avant ou pendant le bétonnage.

2.1.3 GAINES DES CÂBLES DE PRÉCONTRAINTE

La nature, l'épaisseur et le diamètre des gaines doivent répondre aux exigences du projet et respecter les dispositions du § 1.3.1 du présent cahier des charges, de manière à supporter sans dommage toutes les opérations de transport, de pose et de bétonnage, et à faciliter la mise en tension et l'injection.

La fixation des gaines par soudage est interdite.

La disposition, l'espacement des gaines et l'enrobage minimal respecteront la NP EN 1992-1-1, notamment les sections 4.4.1 (enrobage) et 8.10.1 (disposition des armatures de précontrainte et des gaines), ainsi que l'ETE du procédé.

Les tolérances admissibles de pose des gaines par rapport au tracé du projet sont les suivantes :

1. Écarts en élévation

- Éléments de hauteur h < 0,60 m : 2 mm aux points les plus proches des faces supérieure et inférieure et 5 mm aux autres points.

- Éléments de hauteur h ≥ 0,60 m : 4 mm aux points les plus proches des faces supérieure et inférieure et 10 mm aux autres points.

2. Écarts en plan

- Éléments de largeur b < 1,00 m : 5 mm en tout point.

- Éléments de largeur b > 1,00 m : 5 mm en tout point des câbles les plus proches des faces latérales et 10 mm ailleurs.

Les gaines doivent présenter un tracé régulier et être fixées en un nombre de points suffisant pour respecter les tolérances de pose. En tout état de cause, l'écartement entre points de fixation ne dépassera pas un mètre.

Les gaines seront étanches ; des précautions particulières seront prises pour assurer l'étanchéité des raccords, notamment aux liaisons avec les ancrages et les coupleurs.

Les gaines seront munies d'évents à leurs extrémités et à tous les points hauts. Des évents intermédiaires seront prévus pour les câbles de grande longueur, ainsi que des purges aux points bas lorsque des températures négatives sont à craindre pendant les travaux. Au droit des coupleurs, les gaines comporteront localement des évents convenablement orientés et positionnés, afin qu'aucune poche d'eau ou d'air ne subsiste après injection.

Les gaines seront protégées contre la pénétration de matières étrangères et, par temps froid, des précautions particulières seront prises pour empêcher la pénétration d'eau.

2.1.4 ANCRAGES DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE

Les ancrages, coupleurs et dispositifs de raboutage des câbles du procédé de précontrainte utilisé pour la superstructure seront du type indiqué sur les plans d'exécution et accompagnés des documents d'agrément et de contrôle qualité.

Les ancrages doivent garantir un fonctionnement parfait, en bloquant efficacement les armatures, sans pertes de précontrainte excessives et sans réduire la résistance locale et globale prise en compte dans les calculs ; les coupleurs et dispositifs de raboutage doivent en outre assurer une parfaite continuité des armatures.

Essayés avec des câbles non adhérents, les ancrages doivent permettre de développer au moins 90 % de la capacité résistante des câbles, sans que la rentrée d'ancrage dépasse les valeurs prévues. Pour les coupleurs, cette valeur est portée à 95 %.

Aucun raboutage de câbles n'est admis dans les zones de forte courbure.

Les efforts de traction en zone d'ancrage dus à la précontrainte (éclatement et diffusion) seront repris par des armatures disposées sensiblement selon les isostatiques de traction, dimensionnées conformément à la NP EN 1992-1-1 (sections 6.5 et 8.10.3) et aux armatures de frettage définies dans l'ETE du procédé.

Les ancrages seront placés aux emplacements indiqués sur les plans de détail de l'étude de précontrainte.

Les ancrages seront positionnés de sorte que leurs axes coïncident avec ceux des armatures tendues et que le centre de gravité de l'ensemble corresponde à l'excentricité de précontrainte indiquée sur les plans du projet.

Ils laisseront entre eux l'espace nécessaire à la mise en place aisée des vérins, ainsi que des passages suffisants dans le béton pour les armatures passives et le béton.

Les ancrages seront solidement fixés aux coffrages afin qu'ils ne se déplacent ni sous un choc accidentel ni pendant le bétonnage.

2.1.5 MISE EN TENSION DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE

La mise en tension des armatures de précontrainte sera réalisée conformément au programme de mise en tension approuvé.

La mise en tension ne pourra commencer moins de trois jours après le dernier bétonnage, ni avant que :

- le béton de l'élément ait atteint une résistance au moins égale à 0,70 fois sa valeur caractéristique ;
- la résistance moyenne à la compression du béton en zone d'ancrage soit au moins égale à la valeur minimale ($f_{cm,0}$) indiquée dans l'ETE du procédé pour la plaque d'ancrage utilisée, compte tenu des distances aux bords et des entraxes qui y sont définis.

La mise en tension sera réalisée conformément aux règles d'application du procédé retenu, selon l'ordre et les paliers de tension définis dans le programme de mise en tension approuvé par le Maître d'œuvre.

Cet ordre de mise en tension sera établi de manière à éviter toute excentricité nuisible de la précontrainte.

La contrainte maximale appliquée par le vérin ne doit pas dépasser la plus faible des valeurs 0,80 f_{pk} et 0,90 $f_{p0,1k}$ (NP EN 1992-1-1, 5.10.2.1). La contrainte initiale immédiatement après transfert (σ_{pm0}) ne doit pas dépasser la plus faible des deux valeurs suivantes (NP EN 1992-1-1, 5.10.3) :

- 85 % de la valeur caractéristique de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,1 % ;
- 75 % de la valeur caractéristique de la résistance à la rupture.

Toute surtension éventuellement nécessaire ne pourra être appliquée qu'avec l'autorisation expresse du Maître d'œuvre ; toutes ces opérations et les lectures correspondantes seront enregistrées et les câbles concernés identifiés.

La contrainte finale (théorique) de l'acier sous actions maximales, après déduction de toutes les pertes, ne doit pas dépasser 65 % de la valeur caractéristique de la résistance à la rupture.

Aucune mise en tension ne sera effectuée par température inférieure à 0 °C.

Les allongements des armatures et les rentrées d'ancrage seront mesurés au millimètre près et consignés, avec les lectures correspondantes des manomètres et des capteurs de force des vérins, sur le procès-verbal de mise en tension.

L'effort de traction appliqué par le vérin sera indiqué dans le programme de mise en tension, et les dispositifs de mesure devront garantir que la précontrainte introduite ne s'écarte pas de plus de 5 % de la valeur prévue.

Les allongements seront mesurés avec une précision d'au moins 2 % du total et ne devront pas s'écarter de plus de 5 % des valeurs prévues. Ils seront consignés sur le procès-verbal de mise en tension, avec tous les incidents survenus au cours de l'opération.

L'Entrepreneur remettra par écrit au Maître d'œuvre un plan détaillé d'étalonnage des lectures et du matériel couvrant toute la durée du marché, comprenant les certificats d'étalonnage initial établis par un laboratoire accrédité ainsi que la liste et la description du matériel utilisé.

L'Entrepreneur ne pourra procéder à la mise en tension qu'après approbation de ce plan par le Maître d'œuvre.

Ce plan comprendra également la liste des manomètres et capteurs de pression tenus en réserve.

Aucune mise en tension ne pourra être effectuée hors de la présence du Maître d'œuvre.

Pendant la mise en tension, la présence de personnes derrière les vérins et dans l'axe des câbles est interdite ; cette zone sera balisée et protégée par des écrans. Les vérins, pompes, manomètres et flexibles seront inspectés avant chaque utilisation, et tout matériel endommagé sera immédiatement retiré du service.

En cas de rupture d'une armature (fil, toron ou barre) pendant la mise en tension, les opérations seront suspendues et le Maître d'œuvre décidera des mesures à prendre (surtension, remplacement des armatures ou mise en place d'armatures complémentaires).

Ces opérations seront à la charge de l'Entrepreneur.

Les surlongueurs des armatures ne seront pas coupées avant l'approbation du procès-verbal de mise en tension par le Maître d'œuvre.

2.1.6 INJECTION DES GAINES DE PRÉCONTRAINTE

L'injection des gaines au coulis de ciment défini au § 1.3.3 sera réalisée conformément aux procédures d'injection du procédé approuvé, ou à la NP EN 446 si elle est plus exigeante, au moyen d'une pompe d'injection adaptée raccordée à un malaxeur à production continue, sous une pression minimale de 1 MPa selon la longueur du câble et l'enrobage minimal. La pression ne devra jamais dépasser 2 MPa, la pompe étant équipée des dispositifs de sécurité nécessaires.

L'injection de chaque gaine sera continue, le coulis progressant à une vitesse de 6 à 12 mètres par minute.

Avant injection, les gaines seront soufflées à l'air comprimé, puis lavées à l'eau et à nouveau soufflées à l'air, d'une extrémité à l'autre, afin de les nettoyer et de s'assurer qu'elles sont libres.

L'injection des gaines sera réalisée au plus tard huit jours après l'achèvement de la mise en tension, après décoffrage et avant le déplacement des cintres vers la phase suivante ; l'Entrepreneur sollicitera en temps utile l'approbation du procès-verbal de mise en tension.

Pour les câbles comportant des coupleurs, l'injection sera toujours réalisée avant le raccordement du câble suivant, et toujours depuis l'extrémité opposée.

Le remplissage des gaines sera contrôlé au moyen des évents, ouverts avant le début de l'injection ; le coulis doit en sortir en continu, sans poches d'air ou d'eau, avant la fermeture successive des évents.

Un matériel de réserve d'air comprimé et d'injection d'eau sous pression, alimenté par une source d'énergie indépendante de celle utilisée pour l'injection, doit être disponible en permanence pendant l'injection. En cas d'urgence – panne du matériel d'injection ou obstruction des gaines – le coulis déjà injecté doit être immédiatement chassé par jets d'eau et d'air à l'aide du matériel de réserve.

L'injection ne sera considérée comme terminée que lorsque le coulis sortira en continu à l'extrémité opposée de la gaine, pendant une durée suffisante, sans trace visible d'air ou d'eau.

Une pression de 0,5 MPa sera maintenue pendant cinq minutes après la fermeture des évents.

L'injection est interdite par température inférieure ou égale à +5 °C, ou si de telles températures sont prévues dans les cinq jours suivants.

L'injection est également interdite par température supérieure à 32 °C, la température du coulis devant rester inférieure à cette valeur pendant toute la fabrication.

2.1.6.1 CONTRÔLE QUALITÉ

Des essais de contrôle de réception des coulis seront réalisés pendant toute la durée des travaux. La nature et la fréquence des essais (fluidité, ressuage, variation de volume et résistance) suivront la NP EN 446, en appliquant les bonnes pratiques du fib Bulletin 20 – Grouting of tendons in prestressed concrete.

Les opérations d'injection feront l'objet d'un suivi rigoureux, avec consignation sur le procès-verbal d'injection de la composition du mélange (quantités de ciment, d'eau et de plastifiant), du temps de malaxage, du temps d'écoulement au cône de Marsh, des températures ambiantes et de la pression d'injection.

2.1.7 PROTECTION DES ANCRAGES DES CÂBLES ET BARRES DE PRÉCONTRAINTE

2.1.7.1 CACHETAGE DES ANCRAGES

Les ancrages seront toujours protégés par des capots étanches et, lorsqu'ils sont noyés dans le béton, cachetés au mortier de TYPE III.

Dans ce dernier cas, le mortier ou le béton de remplissage et de cachetage devra adhérer parfaitement au béton de structure et recouvrir entièrement toutes les parties métalliques ; à cet effet, les surfaces de béton seront convenablement repiquées avant cachetage.

Les niches d'ancrage seront cachetées immédiatement après l'injection et la coupe des surlongueurs des torons, après vérification que les allongements respectent les tolérances indiquées au § 2.1.5 du présent cahier des charges.

Le coût du mortier de Type III utilisé pour le cachetage des niches d'ancrage est réputé inclus dans le prix unitaire contractuel des bétons ; l'Entrepreneur ne pourra prétendre à aucun paiement supplémentaire pour sa fourniture et sa mise en œuvre.

Le mortier de cachetage doit adhérer parfaitement au béton de structure et recouvrir entièrement toutes les parties métalliques.

2.1.7.2 CAPOTS DE PROTECTION

Les capots seront convenablement protégés contre la corrosion (galvanisés et peints). Ils seront du type couramment utilisé pour la protection des ancrages de précontrainte extérieure et proviendront du même fournisseur que le procédé de précontrainte mis en œuvre.

Le coût des capots et de leur pose est réputé inclus dans le prix contractuel de la précontrainte.

2.1.7.3 NIVEAUX DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Le niveau de protection des armatures de précontrainte contre la corrosion sera défini dans le projet en fonction des classes d'exposition (NP EN 206 et NP EN 1992-1-1) et des exigences d'inspection, selon les niveaux PL1, PL2 et PL3 du fib Bulletin 33 – Durability of post-tensioning tendons. En environnement agressif, on utilisera des gaines plastiques et des ancrages encapsulés étanches (PL2) ou, si nécessaire, des systèmes électriquement isolés (PL3).

2.1.8 DALLES EN PRÉCONTRAINTE NON ADHÉRENTE (MONOTORONS)

Le présent chapitre s'applique aux procédés de post-tension non adhérente des dalles et planchers par torons gainés-graissés (monotorons), constitués d'un toron d'acier à très basse relaxation enduit de graisse ou de cire de protection et d'une gaine individuelle en PEHD extrudée, conformément à l'ETE du procédé retenu.

Les torons reposeront sur des chaises ou cales espacées de 1,00 m au maximum et seront fixés par fil à ligaturer ou colliers, sans endommager la gaine, de manière à respecter le tracé et les enrobages du projet.

La gaine PEHD sera inspectée avant bétonnage. Les dommages seront réparés au moyen d'un ruban étanche compatible ou d'un manchon thermorétractable, selon les instructions du détenteur du procédé ; le dégainage est interdit au-delà de la longueur strictement nécessaire au droit des ancrages.

Aux ancrages actifs et passifs, la partie dégainée du toron sera protégée par un manchon de liaison étanche entre la gaine et l'ancrage. Après mise en tension, la cavité des clavettes sera remplie de graisse de protection avant la pose du capot étanche, de manière à constituer un ancrage encapsulé.

La mise en tension pourra être réalisée en deux phases : une mise en tension partielle, destinée à maîtriser la fissuration de retrait, lorsque le béton atteint la résistance prévue au projet pour cette phase, puis la mise en tension finale lorsque le béton atteint la résistance minimale $f_{cm,0}$ indiquée dans l'ETE pour l'ancrage utilisé.

Après approbation du procès-verbal de mise en tension par le Maître d'œuvre, les surlongueurs des torons seront coupées par moyens mécaniques, à une distance des clavettes au moins égale à celle indiquée dans l'ETE ; la coupe au chalumeau est interdite.

Le perçage, le carottage ou la création de trémies ultérieurs dans les dalles post-contraintes ne seront autorisés qu'après repérage des torons et accord du concepteur ; la coupe de torons sans procédure de détension préalablement approuvée est interdite. Cette prescription figurera dans le dossier des ouvrages exécutés (DOE) et dans le dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO).

L'Entrepreneur remettra les plans de récolement indiquant le tracé réel des torons, l'emplacement des ancrages actifs et passifs, ainsi que les procès-verbaux de mise en tension.

3 MODE DE MÉTRÉ

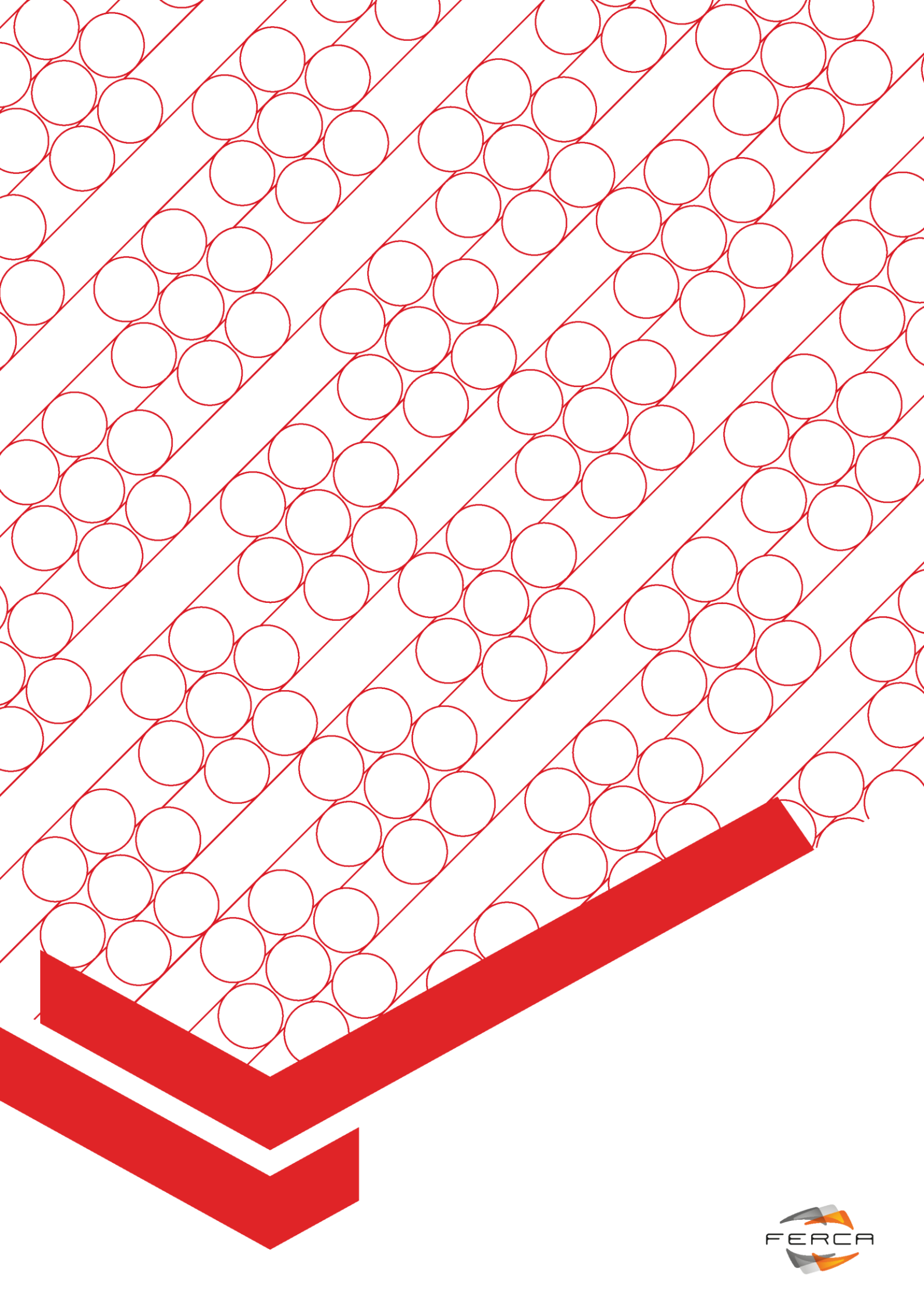
3.1 ACIER DE PRÉCONTRAINTE

Le prix unitaire contractuel comprend les gaines, conduits, protections individuelles des torons, mortier de cachetage, ancrages, armatures de frettage à disposer au voisinage des ancrages pour reprendre les efforts de

déviation, la pose, la mise en tension, l'injection, les cires de protection ainsi que tous autres matériaux et travaux nécessaires à la réalisation complète de la précontrainte, de manière à garantir la valeur utile indiquée sur les plans après déduction des surtensions nécessaires pour compenser les pertes par relaxation de l'acier, frottement, fluage du béton, etc.

Pour le métré des travaux, les armatures en acier à haute résistance sont mesurées au poids **(kg)**, sur la base du poids du toron nu ou de la barre pour les procédés adhérents. Pour les procédés non adhérents tels que le monotoron, le poids à prendre en compte est celui de l'acier et de sa gaine.

Les sections d'acier de précontrainte indiquées sur les plans d'exécution sont les minimales admissibles pour assurer la sécurité vis-à-vis des états limites de service et des états limites ultimes des éléments précontraints, à condition d'utiliser des aciers à haute résistance de la classe indiquée. L'Entrepreneur devra donc garantir, outre les valeurs de précontrainte utile indiquées, la section minimale imposée par le projet ou une section équivalente s'il propose des aciers de caractéristiques différentes, toujours conformément au § 1.2.1 du présent cahier des charges.


FERCA