

*Direction des affaires  
économiques et internationales*

**Circulaire n° 99-53 du 20 août 1999 apportant des compléments à la réglementation de la mise en œuvre de la précontrainte extérieure**

NOR : *EQUE9910151C*

*Textes sources :*

Décret n° 92-72 du 16 janvier 1992 relatif à la composition du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux et approuvant ou modifiant divers fascicules ;

Décret n° 93-446 du 23 mars 1993 relatif à la composition du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux et approuvant ou modifiant divers fascicules ;

Circulaire n° 92-74 du 1<sup>er</sup> décembre 1992 relative aux mesures d'application pour les ouvrages relevant du ministère de l'équipement, du logement et des transports, du fascicule 65 A « Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé et en béton précontraint par post-tension » faisant partie du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux passés au nom de l'Etat ;

Circulaire n° 93-57 du 23 juillet 1993 relative aux mesures d'application pour les ouvrages relevant du ministère de l'équipement, du logement, des transports et du tourisme, de l'additif au fascicule 65 A « Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint » du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux passés au nom de l'Etat ;

Circulaire n° 94-33 du 19 avril 1994 apportant des compléments à la réglementation de la mise en œuvre de la précontrainte (coefficient de transmission) ;

Circulaire n° 94-34 du 19 avril 1994 apportant des compléments à la réglementation et à l'utilisation des barres de précontraintes.

*Texte(s) abrogé(s) :* néant.

*Texte(s) modifié(s) :* néant.

*Annexe :* les conduits en PEHD et leur mise en œuvre.

*Mots clés libres :* précontrainte, injection, conduit.

*Le ministre de l'équipement, des transports et du logement à Madame et Messieurs les préfets de région (directions régionales de l'équipement ; centres d'études techniques de l'équipement de Méditerranée, du Sud-Ouest, de Nord-Picardie, de Lyon, de l'Ouest et de Normandie-Centre ; services de la navigation du Nord-Est, du Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Saône, de la Seine, de Strasbourg et de Toulouse ; services maritimes et de navigation de Gironde, du Languedoc-Roussillon et à Nantes ; services spéciaux des bases aériennes du Sud-Est, du Sud-Ouest et de l'Île-de-France) ; Mesdames et Messieurs les préfets de département (directions départementales de l'équipement ; direction de l'équipement de Mayotte et de Saint-Pierre et Miquelon ; services maritimes des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais, du Nord [Dunkerque], de la Seine-Maritime [Le Havre et Rouen], et des Bouches-du-Rhône [Marseille] ; services spéciaux des bases aériennes du Sud-Ouest, du Sud-Est et de l'Île-de-France ; ports autonomes de Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes, Saint-Nazaire, Bordeaux, Marseille, Strasbourg, Paris et la Guadeloupe ; services de l'aviation civile de Nouméa, Papeete et Moroni) ; Messieurs les directeurs des services techniques centraux ; Monsieur le directeur général d'Aéroports de Paris ; Monsieur le directeur général de la SNCF ; Monsieur le directeur général d'EDF-GDF, pour attribution ; Messieurs les directeurs et chefs de service de l'administration centrale ; Monsieur le vice-président du conseil général des ponts et chaussées ; Messieurs les coordonnateurs des missions d'inspection générale territoriale, des circonscriptions d'inspection des services de la navigation, des circonscriptions d'inspection des services maritimes, de la mission d'inspection spécialisée des ouvrages d'arts ; Messieurs les inspecteurs généraux des services techniques centraux, pour information.*

Depuis la publication par le SETRA en 1990 du document « Précontrainte extérieure », largement repris par l'additif au fascicule n° 65-A du CCTG et la mise en place d'une procédure d'agrément spécifique pour les procédés de précontrainte assurant l'ancrage des câbles extérieurs la réglementation sur la technique en question est restée figée.

Or la pratique des chantiers, l'observation des nombreux ouvrages réalisés sur la base de cette technique, ainsi que l'évolution de la normalisation concernant certains produits (en particulier les tubes en PEHD) conduisent à amender ou à compléter les recommandations et les prescriptions établies à l'époque. Sont concernées les dispositions relatives à l'injection, aux conduits et aux déviateurs.

## 1. L'injection

L'injection des conduits au coulis de ciment demeure le procédé de protection des armatures le plus couramment utilisé en précontrainte par post-tension qu'elle soit ou non extérieure au béton. Certaines difficultés rencontrées lors de l'utilisation de cette technique se soldent, dans quelques cas, par une ségrégation importante, notamment aux points hauts du tracé des câbles avec présence au-dessus du coulis sain d'un produit de consistance pâteuse surmonté d'une couche d'eau et d'une poche d'air. La mise en place d'une procédure d'avis technique concernant les coulis de ciment ainsi que l'apparition sur le marché de produits d'injection prêts à l'emploi de qualité mieux établie devraient permettre une amélioration de la situation, qui n'a rien de spécifique à la précontrainte extérieure.

En précontrainte extérieure, cependant, deux complications nouvelles apparaissent :

- la très grande difficulté d'implanter des événements aux points hauts, compte tenu de la présence du double tubage dans les entretoises d'ancrage et de déviation ;
- le souhait, clairement exprimé en 4.3 de la première partie du document du SETRA de réaliser une injection mixte (coulis de ciment en partie courante du câble et produit souple au voisinage des clavettes) de façon à laisser aux clavettes toute latitude de recul pour leur permettre d'absorber les surtensions susceptibles d'affecter le câble.

En ce qui concerne le premier problème, il s'est avéré possible, dans certaines configurations très particulières, de venir percer le conduit en PEHD au niveau du point haut, après mise en tension des armatures, et d'y fixer un événement mais il s'agit là d'une opération très délicate, exigeant une minutie peu compatible avec les conditions d'un chantier de génie civil.

D'autres solutions plus opérationnelles sont actuellement étudiées ou proposées par les entreprises distributrices spécialisées.

Pour ce qui est du deuxième point, les nombreux essais effectués, en particulier aux fins d'agrément, ont montré que même en présence de coulis, les clavettes d'une armature suffisamment tendue au départ conservaient leur capacité à l'ancrer jusqu'à sa force de rupture garantie, moyennant une perte de ductilité limitée, se traduisant par une diminution parfaitement acceptable de l'allongement total (à rupture ou au glissement). Par ailleurs, l'expérience accumulée a révélé qu'il était extrêmement délicat de réussir une bonne injection mixte sur chantier. On ne peut, dans ces conditions, que déconseiller le recours à ce type de solution pour des câbles de précontrainte extérieurs au béton qui, en pratique, sont soumis à de fortes tensions permanentes et à de faibles variations de tension, contrairement aux haubans pour lesquels le problème de la tenue des clavettes s'est réellement posé dans le passé, compte tenu de leur mode de sollicitation.

Indépendamment de ces considérations, il est évident que l'on a tout intérêt à exiger, au niveau des marchés, des solutions et des procédures d'injection donnant les garanties les plus sérieuses d'un bon remplissage des conduits. A cet égard, il apparaît que la technique de l'injection sous vide, avec des épaisseurs de PEHD suffisantes améliore les résultats et constitue un test préalable particulièrement probant de l'étanchéité des conduits qui ne peut qu'inciter à obtenir d'emblée la qualité requise à cet égard. Les méthodes traditionnelles, quant à elles, doivent être obligatoirement couplées à des reprises d'injection par repoussage du coulis selon une procédure détaillée, adaptée à chaque ouvrage et à chaque produit : ces repoussages judicieusement programmés, devraient permettre, en principe, d'éliminer aux points hauts les produits de décantation par des événements convenablement placés.

Le lavage à l'eau des armatures dans les conduits destinés à être injectés au coulis de ciment entraîne la présence d'une phase liquide résiduelle « eau + huile soluble dissoute » qui se mélange au front de ciment lors de l'injection : ceci perturbe la composition du coulis et augmente la quantité des produits de décantation à éliminer. En conséquence, il est fortement déconseillé de laver les armatures avant les injections.

Enfin il convient de ne pas oublier que le coulis de ciment n'est pas la seule protection connue des armatures de précontrainte. En effet, existent les protections souples qui satisfont aussi les exigences de protection et de conservation des armatures. A ce titre, une solution consiste en l'enfilage de torons gainés graissés dans un conduit général qu'on injecte au coulis de ciment avant de tendre. Le coulis de ciment joue le rôle mécanique d'écarteur pour figer la position relative des armatures, mais non plus celui de protection primaire rempli dans ce cas par la graisse emprisonnée dans chacune des gaines individuelles.

Les cires pétrolières ont également fait leurs preuves : elles ont la réputation d'être plus onéreuses que le coulis de ciment et, pour cette raison, ne sont plus guère utilisées en France, à l'heure actuelle, que pour l'injection de certains haubans. Il est clair, par ailleurs, qu'elles ne peuvent être mises en œuvre dans des conditions satisfaisantes qu'en ayant recours à des moyens lourds qui ne se justifient que si le volume à injecter, donc la taille du chantier, sont suffisants. Si ces conditions sont réunies, l'écart de prix entre coulis et cire est sans doute moins important qu'on peut le penser *a priori*, compte tenu des simplifications non négligeables que permet la deuxième solution, au niveau des ancrages et des déviateurs, sans aucunement compromettre la démontabilité du système. Ce surcoût mérite alors d'être mis en balance avec les autres avantages que présente la solution de l'injection par produits souples (possibilité de détension au vérin, en particulier, sous réserve qu'on ait conservé les surlongueurs).

## 2. Les conduits en PEHD

La norme NFT 54-072 visée dans le document « Précontrainte extérieure » du SETRA est tombée en désuétude du fait des progrès importants accomplis par l'industrie des polyéthylènes.

La qualité des tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) est maintenant garantie par l'existence d'une marque NF attestant leur conformité au règlement particulier de la marque.

Ce règlement définit pour les tubes extrudés, quatre groupes d'applications dont deux peuvent être envisagés pour la réalisation de conduits :

- le groupe 2, eau potable ;
- le groupe 4, industrie.

Le groupe 2 (cf. Annexe), plus onéreux, offre l'avantage d'interdire l'utilisation de matière interne retransformable dans la fabrication des produits. Il importe, si l'on a recours au groupe 4 (ce qui devrait constituer le cas le plus fréquent) d'obtenir du producteur des garanties sur l'origine, la qualité et la quantité du polyéthylène de récupération entrant dans la composition du produit.

Des spécifications à inclure dans les CCTP sont données en annexe.

### 3. Les déviateurs

Dans le cas de déviateurs « à double paroi », on utilise fréquemment comme tubes coffrants des tubes évasés permettant de reprendre à leur extrémité une imprécision angulaire de direction arbitraire au moins égale à  $q_0$  min. (cf. Additif au fascicule 65 A du CCTG).

Il arrive que, pour des raisons de bonne pratique, on soit amené à planter, de propos délibéré, la partie courante du tube coffrant non pas selon sa position idéale, mais selon une position théorique légèrement différente générant, en sortie de déviateur, un écart angulaire  $q_0$  par rapport au tracé idéal.

Il va de soi qu'il est légitime de compter sur l'évasement pour reprendre cet écart volontaire  $q_0$ , à condition que  $q_0$  ne soit pas trop important et que par ailleurs  $q_0$  min ait été choisi de façon à couvrir le cumul de  $q_0$  avec les déviations angulaires résultant des tolérances tant sur la forme intrinsèque des déviateurs que sur leur mise en place.

### 4. Conclusions pratiques

Pour permettre une évolution dans le sens souhaité, il est donc recommandé aux maîtres d'œuvre :

- de demander systématiquement des propositions techniques concernant la réalisation d'événements aux points hauts ;
- d'éviter soigneusement, au niveau des pièces écrites, toute incitation à la réalisation d'injections mixtes ;
- d'envisager, quand la protection primaire des armatures extérieures est assurée par un coulis de ciment, la réalisation d'injections sous vide ;
- d'interdire le lavage à l'eau des armatures dans les conduits avant l'injection ;
- de demander l'évaluation de variantes éprouvées concernant la protection pouvant être basées sur l'utilisation :
  - de torons gainés graissés ;
  - d'une cire pétrolière répondant aux spécifications de l'additif au fascicule 65 A du CCTG lorsque la taille de l'ouvrage s'y prête (à titre d'ordre de grandeur lorsque plus de 100 tonnes d'armatures extérieures sont envisagées) ;
  - de préciser, le cas échéant, dans le CCTP, les limites acceptables d'un écart volontaire entre la position prévue pour un déviateur et sa position théorique idéale (une valeur limite de 0,05 rd pour  $q_0$  paraît raisonnable dans les cas courants) ;
- d'inclure enfin dans le marché les prescriptions de l'annexe sur les conduits en PEHD.

*Le sous-directeur du  
bâtiment,  
et des travaux publics,  
J.-M. Etienne*

## ANNEXE

### LES CONDUITS EN PEHD ET LEUR MISE EN ŒUVRE

#### 1. Tubes en PEHD

Les tubes bénéficient de la marque NF, selon l'identification AFNOR NF 114, mise en vigueur en janvier 1990, appliquée à son dernier indice de révision (revue n° 12 à la date de rédaction de ce document), groupe 4 applications industrielles, ou groupe 2 eau potable, polyéthylène de type PE 80 ou PE 100.

Le fournisseur de tube doit avoir une organisation de la qualité conforme à la norme NF en ISO 9002.

Toute fourniture de tube du groupe 4 doit impérativement être accompagnée des documents de traçabilité concernant l'origine, la qualité et la quantité du polyéthylène de récupération utilisé pour la fabrication.

En l'absence de ces documents, la fourniture est refusée.

Selon le type d'utilisation, et en accord avec le maître d'œuvre, les tubes sont choisis dans les séries de pression suivantes :

- série basse pression PN = 0,63 MPa PE 80 uniquement ;
- série pression PN = 1,00 MPa PE 80 ou PE 100.

#### 2. Mise en place des conduits

Les appuis provisoires assurant le support des conduits avant mise en tension des câbles doivent être conçus de façon à éviter toute déformation locale excessive.

Ces appuis, s'ils ne sont pas continus, doivent offrir chacun une longueur de contact avec le conduit au moins égale au diamètre de ce dernier et ne pas présenter d'arête vive. Leur espacement est limité à 5 mètres, cette valeur étant ramenée à

2,5 mètres lorsque les câbles sont constitués de torons gainés graissés logés dans des conduits injectés avant leur mise en tension.