

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
BUREAU DES PONTS
SERVICES TECHNIQUES GENERAUX

Bruxelles, le 20.12.88

Entrée# 20.12.1988
13087

AUX CHEFS DE SERVICE

Circulaire N° 576-A/11

OBJET : Marchés publics de Travaux, de fournitures et de services.

Mise en tension des armatures de précontrainte après durcissement du béton
(post-tension)

1) Généralités.

La présente circulaire doit être rendue d'application dans les cahiers spéciaux des charges où la mise en tension des armatures de précontrainte est prévue après durcissement du béton.

Seuls les systèmes de mise en tension autorisés peuvent être utilisés. Leur autorisation est accordée par les services extérieurs du Bureau des Ponts (Liège ou Gent). Le contrôle des essais de frottement sur chantier relève des mêmes services.

2) Données en rapport avec la mise en précontrainte.

Les documents d'exécution doivent reprendre les indications suivantes relatives à la mise en précontrainte:

- le système de précontrainte prévu;
- le type d'armatures de précontrainte prévu, désigné comme le prescrivent les normes NBN I 10-001 (1986), NBN I 10-002 (1987), NBN I 10-003 (1986).
- la résistance en compression du béton $R'w$ exigée, en accord avec la note de calculs, avant la mise en tension des armatures de précontrainte: elle est mesurée sur cube de chantier;

La résistance en compression du béton exigée est indiquée tant en ce qui concerne les zones d'ancrage que dans les parties courantes de l'ouvrage d'art.

La résistance en compression minimale exigée doit au moins répondre aux prescriptions du paragraphe 3.3bis de fascicule 4.1 de mars 1984 (circulaire 576-B/2 du 20/02/1984).

Dans le cas des ouvrages d'art en béton de gravier ou de concassés précontraint coulé en place pour lesquels dans le cas de béton jeune des déformations notables peuvent se produire au cours de la mise en précontrainte, il peut être prévu dans le cahier spécial des charges que trois éprouvettes prismatiques de 200 x 200 x 500 mm soient prélevées au cours du bétonnage de dernière phase. Ces éprouvettes portent des repères clairs qui permettent de les identifier d'une manière simple.

.../..

Ces éprouvettes sont réservées à la détermination du module sécant au niveau de la contrainte de compression maximale qui se développe dans le béton au cours de la mise en précontrainte (NBN B 15-203). Ce n'est que lorsque le module sécant a atteint une valeur de 35.000 N/mm^2 qu'il peut être procédé à la mise en précontrainte de l'ouvrage. La contrainte maximale de compression qui se développe au cours de la mise en tension dans la partie courante de l'ouvrage d'art doit être rappelée : si cette contrainte n'est pas indiquée, on considère pour la détermination du module sécant, qu'elle est égale à la contrainte de compression admissible lors de la mise en tension, soit $0,4 R'w$ comme le prescrit l'article 4.3.3.2. de la NBN B15-103 de 1977.

Le critère relatif au module sécant du béton n'est pas imposé par la présente circulaire, il n'est d'application que si le cahier spécial des charges l'impose explicitement. Ce critère n'est en aucun cas d'application aux ouvrages d'art construits suivant les méthodes par encorbellements successifs ou par poussage, à la précontrainte de seconde phase des poutres préfabriquées en béton précontraint ou métalliques préfléchies enrobées de béton. En ce qui concerne les ouvrages d'art exécutés suivant les méthodes par encorbellement ou par poussage, le cahier spécial des charges contient les clauses particulières adéquates.

- la force utile de précontrainte à appliquer derrière le dispositif d'ancrage avant le blocage des câbles, ainsi que la valeur théorique calculée de l'allongement entre les deux appareils d'ancrage augmentée du glissement au droit des coupleurs éventuels;

Par "force utile de précontrainte derrière le dispositif d'ancrage", il faut entendre l'effort réel exigé dans le câble à l'extrémité du dispositif d'ancrage c'est-à-dire après déduction de toutes les pertes qui se produisent dans ce dispositif (voir plus loin paragraphe 3.3.).

Par dispositif d'ancrage, il faut entendre l'appareil d'ancrage et la trompette de raccordement située entre la plaque de répartition (plaque d'ancrage) et le début de la gaine courante de section constante du câble.

Par câble, il faut entendre chaque unité de précontrainte constituée d'une armature (fil, toron ou barre) ou de plusieurs, qui sont mises en tension simultanément.

- les réglages éventuels de la force utile de précontrainte derrière le dispositif d'ancrage et la valeur théorique calculée des allongements ou raccourcissements correspondants;
- la valeur de la rentrée du câble (propre au système de précontrainte prévu) au cours de son blocage et la "force utile de précontrainte derrière le dispositif d'ancrage" exigée après blocage;
- la succession des éventuelles différentes phases de mise en tension, éventuellement combinées avec l'enlèvement des étaçons, la libération progressive des échafaudages, le réglage des appuis, la mise en place ou l'enlèvement de charges limitées partielles ou provisoires, etc.;
- l'ordre de mise en tension des câbles et les extrémités des câbles où doivent s'effectuer les opérations.

3) Appareillage de mise en tension.

3.1. Définition.

Par appareillage de mise en tension, il faut entendre l'ensemble de tous les éléments suivants : le vérin, le manomètre, la pompe et tous les dispositifs de sécurité et de connexion entre ces éléments.

Chaque appareillage de mise en tension doit contenir un manomètre de réserve qui doit pouvoir être mis en place aisément au même endroit du circuit hydraulique que le manomètre de base.

Chaque élément de l'ensemble doit porter son numéro d'identification propre. Le vérin, les manomètres de base et de réserve forment un ensemble indivisible; en d'autres mots, chaque manomètre de base doit pouvoir être remplacé par, au moins, un autre manomètre de réserve pour lequel l'étalonnage de l'ensemble "vérin-manomètre" est déterminé (voir paragraphe 3.3.).

3.2. Précision.

L'appareillage de mise en tension doit être tel que les efforts effectivement appliqués ne s'écartent pas des efforts théoriques de plus de 2%.

3.3. Etalonnage.

Chaque ensemble "vérin-manomètre" est étalonné dans des conditions qui sont représentatives des conditions d'utilisation. Les diagrammes d'étalonnage donnent la relation entre la pression lue au manomètre du vérin et la "force utile de précontrainte derrière le dispositif d'ancrage" de telle façon que toutes les pertes qui se produisent dans l'appareillage de mise en tension et dans le dispositif d'ancrage soient prises en compte dans l'étalonnage. En conséquence, l'étalonnage d'un vérin à la presse ne constitue pas un étalonnage acceptable.

L'étalonnage doit être établi dans les conditions où l'ensemble "vérin-manomètre" fonctionne aussi bien activement que passivement et en exerçant aussi bien des efforts croissants que décroissants. Quatre diagrammes d'étalonnage accompagnent donc chaque ensemble "vérin-manomètre" :

- effort croissant au vérin actif: relation entre l'effort utile et la pression durant l'augmentation de l'effort au vérin actif;
- effort décroissant au vérin actif: relation entre l'effort utile et la pression durant la diminution de l'effort au vérin actif;
- effort croissant au vérin passif: relation entre l'effort utile et la pression durant l'augmentation de l'effort au vérin passif;
- effort décroissant au vérin passif: relation entre l'effort utile et la pression lors de la diminution d'effort au vérin passif.

Trois mises en charges sont réalisées avec respectivement le vérin au début, au milieu et en fin de course.

Chaque diagramme d'étalonnage est établi par application d'une régression linéaire à partir des trois chargements successifs pour des efforts compris entre 10% et 100% de l'effort maximal. (La précision de l'ensemble "vérin-manomètre" est insuffisante pour des efforts inférieurs au dixième de l'effort maximal).

L'ensemble "vérin-manomètre" peut être utilisé avec son diagramme d'étalonnage ainsi établi pour autant que dans la gamme des efforts compris entre 20 et 100% de l'effort maximal, les valeurs relevées durant les trois chargements ne s'écartent pas de plus de 2% des valeurs liées à la droite de régression.

Les procès verbaux d'étalonnage indiquent toutes les valeurs mesurées et décrivent les conditions dans lesquelles l'étalonnage a eu lieu. Ils indiquent le numéro d'identification du vérin et du manomètre.

Dès qu'un élément d'un ensemble a subi une réparation, on procède à un nouvel étalonnage.

La durée de validité d'un étalonnage s'étend tout au plus sur six mois. L'appareil qui sert à mesurer l'effort utile de précontrainte sur le banc d'étalonnage est exclusivement réservé à cet usage; il fait l'objet d'un étalonnage annuel dans un laboratoire agréé.

L'étalonnage de chaque ensemble "vérin-manomètre" est réalisé en présence et sous contrôle du service extérieur concerné du Bureau des Ponts.

4) Essais de frottement.

4.1. But et exécution.

Certains câbles de chaque ouvrage d'art sont soumis à des essais de frottement, afin de mesurer les pertes par frottement réelles des câbles le long de leur tracé. Ces essais de frottement se déroulent comme suit :

- le câble est mis en tension à une de ses extrémités (extrémité active) par paliers de 400 kN au maximum et, de préférence, les mêmes paliers que ceux adoptés lors de l'établissement des diagrammes d'étalonnage, jusqu'à ce que la force utile, indiquée sur les documents d'exécution, soit atteinte;
- à l'autre extrémité du câble (extrémité passive), on mesure à chaque palier l'effort utile de précontrainte transmis;

.../..

- à chaque palier, on mesure l'allongement du côté vérin actif et la rentrée éventuelle côté vérin passif;
- à l'extrémité passive, éventuellement, le câble est finalement mis en tension également par paliers jusqu'à ce que l'effort utile de précontrainte indiqué sur les documents d'exécution soit atteint; concomitamment on mesure, à chaque palier, l'allongement correspondant.

Sur les allongements mesurés (allongements bruts) sont appliquées des corrections qui tiennent compte de la fixation du zéro (voir paragraphe 5), des allongements complémentaires qui résultent de l'allongement de la surlongueur du câble jusqu'à leur fixation dans les vérins, des déformations de l'appareillage de mise en tension, éventuellement de la rentrée des clavettes du vérin, du raccourcissement élastique de la structure etc... . Ces corrections sont déterminées pour chaque cas particulier.

Afin de déterminer l'effort utile de précontrainte à la sortie du dispositif d'ancrage après blocage, le glissement à l'ancrage peut être simulé par une diminution de l'effort de mise en tension pour laquelle on mesure le raccourcissement correspondant.

Les essais de frottement ne peuvent être exécutés que sur les câbles munis de deux ancrages actifs.

Dans le cas d'utilisation de câbles fixés par un ancrage actif et un ancrage passif, on doit, si possible, prévoir lors de l'établissement du projet, un certain nombre de câbles qui soient équipés de deux ancrages actifs de telle manière que les essais de frottement puissent être réalisés, sinon on prévoit d'installer à l'extrémité passive de certains câbles un appareil de mesure basé par exemple sur l'effet magnétoélastique, qui permet la détermination des contraintes et des forces de ces câbles. Un tel système doit au préalable être étalonné en fonction de l'acier de précontrainte, retenu pour l'ouvrage d'art.

Le nombre de câbles à soumettre aux essais de frottement est fixé en temps voulu par l'administration et est au moins égal à trois. La détermination de ce nombre de câbles doit tenir compte de la longueur et du tracé des câbles, de leur composition et de leur section, de leur résistance caractéristique à la traction prescrite, du type de gaine et des conditions d'exécution de l'ouvrage.

Les câbles qui pour l'une ou l'autre raison auraient été mis partiellement en tension, ne peuvent plus être retenus comme câbles d'essais de frottement.

Les données nécessaires (voir paragraphe 4.2) et la date prévue pour les essais de frottement sont communiquées à l'administration par l'entrepreneur au moins trois semaines avant cette date. La date définitive des essais de frottement est fixée, d'un commun accord, une semaine avant le début des essais.

Les câbles qui doivent être clavetés à la fin des essais de frottement, ne peuvent pas être tendus à plus de 90% de la valeur de mise en tension utile exigée. De cette manière, il reste possible de réaliser encore une adaptation de l'effort de précontrainte lors de la mise en tension définitive.

4.2. Données relatives aux essais de frottement.

Afin de pouvoir porter un jugement sur les valeurs mesurées lors des essais de frottement, plusieurs données complémentaires doivent être précisées en plus des indications fixées au paragraphe 2 ; ces données complémentaires précisées ci-après sont reprises sur un document d'exécution particulier dressé par l'entrepreneur :

- la résistance effective $R'w$ à la compression mesurée sur cubes de chantier, avant la mise en tension des câbles qui font l'objet des essais de frottement et ce, en conformité avec les résultats de la note de calculs.

La résistance effective à la compression du béton exigée est donnée aussi bien pour les zones voisines des pièces d'ancrage que pour la partie courante de l'ouvrage.

.../..

La résistance minimale effective à la compression du béton exigée doit au minimum répondre aux prescriptions du paragraphe 3.3 bis du fascicule 4.1 de mars 1984. De ceci, il résulte que la mise en tension des câbles soumis aux essais de frottement fait partie de la mise en précontrainte définitive de l'ouvrage d'art;

- le module d'élasticité des armatures de précontrainte pris en considération dans les calculs (cfr série de normes NBN I 10);
 - la longueur de chaque câble d'essai comprise entre ses ancrages, mesurée suivant son tracé;
 - la valeur des coefficients μ et k pris en compte dans le calcul de détermination des pertes par frottement; sous réserve que d'autres prescriptions soient imposées par le cahier spécial des charges, l'annexe I fixe les valeurs à prendre en considération dans les calculs de ces coefficients;
 - un tableau indiquant, pour chaque câble d'essai et pour chaque section caractéristique de l'ouvrage, la déviation angulaire globale depuis l'ancrage jusqu'à la section concernée ainsi que la longueur x déterminée en tenant compte du tracé du câble, comprise entre les deux mêmes repères, enfin la valeur de l'expression $e^{-\mu(\alpha + kx)}$.
- Par section caractéristique, il faut entendre chacune des sections les plus sollicitées, soit celles en travée, soit celles sur appuis dans le cas de structures continues;
- l'effort utile théorique de précontrainte derrière le dispositif d'ancrage à chaque extrémité du câble et l'effort utile théorique de précontrainte correspondant à l'autre extrémité (côté passif) lorsque le câble est mis en tension à une seule de ses extrémités (côté actif);
 - la valeur théorique des allongements lorsqu'on exerce l'effort utile de précontrainte à chacune des deux extrémités ou à une seule extrémité du câble;
 - éventuellement également la variation théorique de l'effort utile de précontrainte qui correspond à la rentrée du câble dans l'ancrage lors du blocage.

4.3. Interprétation.

Les valeurs mesurées lors des essais de frottement sont comparées avec les indications mentionnées aux paragraphes 2 et 4.2.

Deux cas peuvent se présenter :

4.3.1. Les valeurs mesurées concordent ou s'écartent légèrement des valeurs théoriques indiquées aux paragraphes 2 et 4.2.

Il en résulte qu'il est éventuellement possible d'adapter les "données" de telle manière qu'il soit entièrement satisfait aux prescriptions du cahier spécial des charges.

Les valeurs des paragraphes 2 et 4.2. une fois mises au point, sont dès lors et ci-après appelés "programme de mise en tension définitif". Avant la mise au point de ce programme définitif, les indications des paragraphes 2 et 4.2 ne sont en conséquence à considérer que comme données provisoires.

Lors de l'obtention d'un résultat des essais de frottement, à première vue défavorable, il reste tout de même possible dans le cas de certains ouvrages d'art d'élaborer un programme définitif de mise en tension tel que l'effort global de précontrainte soit réalisé dans les sections caractéristiques de l'ouvrage d'art en faisant appel à une éventuelle réserve disponible de contrainte utilisable soit que cette réserve ait été prévue au niveau des calculs, soit que cette réserve découle de l'utilisation par l'entrepreneur de câbles de précontrainte plus performants (meilleure qualité, section d'acier plus importante).

Le programme définitif de mise en tension est dressé par et aux frais de l'entrepreneur qui le soumet pour approbation à l'administration. Le programme définitif de mise en tension ne peut être introduit sans une note de calculs complémentaire relative à l'influence sur les contraintes qui se développent dans l'ouvrage d'art par suite des adaptations des efforts de mise en tension.

4.3.2. Les valeurs mesurées divergent fortement des valeurs mentionnées aux paragraphes 2 et 4.2. Il en résulte donc une impossibilité de réviser les valeurs mentionnées de manière à satisfaire aux prescriptions du cahier spécial des charges. En conséquence, les travaux sont refusés par l'administration. La procédure postérieure détaillée à appliquer dans un tel cas d'hypothèse est précisée au paragraphe 6.3.

5) Programme définitif de mise en tension.

L'ouvrage d'art est mis en précontrainte sur base du programme définitif de mise en tension.

La mise en précontrainte de l'ouvrage est exécutée par un personnel qualifié, sous la conduite d'un chef d'équipe possédant une connaissance et une expérience suffisantes de telle manière qu'il puisse détecter toute anomalie se produisant durant cette opération. L'administration peut exiger que les essais de frottement (paragraphe 4) soient exécutés exclusivement par le personnel chargé de la mise en précontrainte définitive afin de contrôler sa capacité de manipulation des vérins et son aptitude à réaliser les mesures.

Avant leur mise en tension, les câbles doivent pouvoir librement glisser longitudinalement dans leur gaine lorsque leurs extrémités sont libres.

La mise en précontrainte définitive est réalisée avec le même appareillage que celui avec lequel les essais de frottement ont été exécutés.

Au cours de la mise en tension, aussi bien l'entrepreneur que l'administration examinent si l'appareillage de mise en tension fonctionne normalement et/ou si le programme définitif de mise en tension est observé.

.../..

Au cours de la mise en tension définitive, la mesure de l'allongement correspondant aux différents efforts exercés est un moyen de contrôle, elle est obligatoire pour chaque câble. A cet effet, on procède pour chaque câble de la manière suivante :

- mise en tension jusqu'à développer un effort dont l'intensité est comprise entre 20 et 30% de l'effort utile prévu dans le programme définitif de mise en tension afin de supprimer le mou du câble et de permettre un contrôle exact de l'allongement (détermination du zéro);
- mise en place des repères aux deux extrémités des câbles et mesure de leur position par rapport aux plaques de répartition;
- mesure de la position des repères à chaque étape de la mise en tension; les différentes étapes de la mise en tension sont choisies comme décrit dans la procédure des essais de frottement (voir paragraphe 4.1);
- mesure de l'allongement résultant de l'augmentation de l'effort entre deux étapes de la mise en tension ou du raccourcissement résultant d'une diminution de l'effort.

Toutes les mesures en rapport avec le programme définitif de mise en tension sont notées sur un formulaire dénommé ci-après "fiche de mise en tension". La précision avec laquelle sont mesurés les allongements ou les raccourcissements est le millimètre.

Les indications suivantes sont mentionnées sur la "fiche de mise en tension" :

- * l'ouvrage d'art ou la partie d'ouvrage d'art
- * la date
- * le type de câble
- * le numéro du câble
- * la mise en tension par une ou par les deux extrémités
- * pour chaque extrémité active des câbles :

- la localisation de cette extrémité par rapport à l'ouvrage (par exemple côté culée 1, côté nord etc...);
- le numéro d'identification du vérin et du manomètre;

- la valeur de l'effort, de la pression et de l'allongement brut (non corrigé) à chaque étape de mesure;
 - la rentrée du câble sous l'action du blocage des clavettes puis du déchargement du vérin jusqu'à une valeur de 10 % de l'effort appliqué.
- * la rentrée du câble à l'extrémité passive lorsque la mise en tension s'effectue à une seule extrémité (côté actif);
 - * l'allongement total brut et l'allongement total corrigé;
 - * chaque particularité, anomalie, incident ou irrégularité constatés au cours de la mise en tension (par exemple, bruits anormaux, chocs, augmentation discontinue de l'effort, rupture d'armatures, etc.).

Dans tous les cas, les "fiches de mise en tension" sont soumises à l'administration par l'entrepreneur pour approbation.

Lors de la mise en tension, il est exigé que l'effort utile de mise en précontrainte à la sortie du dispositif d'encrage soit égal à l'effort utile de précontrainte indiqué dans le programme définitif de mise en tension et que l'allongement correspondant mesure puis corrigé soit au moins égal à l'allongement théorique (établi en prenant en compte le module d'élasticité réel de l'acier). Si cette valeur de l'allongement n'est pas atteinte, l'entrepreneur n'est pas autorisé à augmenter de sa propre initiative l'effort de précontrainte. La constatation d'un allongement soit trop faible, soit anormalement grand ou d'une rentrée trop importante d'un câble doit faire l'objet d'un examen par l'entrepreneur et par l'administration avant de poursuivre plus avant la mise en précontrainte de l'ouvrage. L'entrepreneur établit les propositions nécessaires relatives aux mesures à prendre et les présente à l'approbation de l'administration.

Dans le cas de rupture d'armature de précontrainte, de glissement des armatures au droit des clavettes d'ancrage ou de tout autre incident, les causes en sont recherchées, afin d'y remédier. Les armatures de précontraintes rompues sont, si possible, remplacées. Si leur remplacement n'est pas possible, les conséquences en sont étudiées par l'entrepreneur qui soumet à l'administration, ses propositions pour atteindre le niveau de sécurité imposé par le cahier spécial des charges en ce qui concerne la portance, l'utilisation et la durabilité de l'ouvrage d'art.

Les surlongueurs des armatures de précontrainte ne peuvent être coupées sans l'accord de l'administration.

6) Appréciation de la mise en tension définitive.

- 6.1. Si le programme définitif de mise en tension a pu être établi de telle manière que l'effort total de précontrainte nécessaire puisse être réalisé dans les sections caractéristiques de l'ouvrage et si la mise en tension suivant le programme définitif s'est déroulée d'une manière satisfaisante, le résultat de la précontrainte est accepté.
- 6.2. Si le programme définitif de mise en tension a pu être établi de telle manière que l'effort de précontrainte total nécessaire puisse être réalisé dans les sections caractéristiques de l'ouvrage d'art mais que la mise en précontrainte définitive réelle ne se soit pas déroulée d'une manière satisfaisante, l'entrepreneur applique, à ses frais, les mesures mentionnées au paragraphe 5.
- 6.3. Si le programme définitif de mise en tension n'a pu être établi de telle manière que l'effort de précontrainte total nécessaire soit réalisé dans les sections caractéristiques de l'ouvrage, et si l'administration a refusé le travail, l'entrepreneur peut cependant, après en avoir averti celle-ci, poursuivre à ses risques et périls les opérations de mise en tension sous réserve qu'au cours de la mise en tension, il mesure pour tous les câbles où cela est possible (câbles avec deux ancrages actifs) l'effort utile de précontrainte transmis à l'extrémité passive. L'effort utile de précontrainte transmis est uniquement mesuré lorsque l'effort utile maximal de mise en tension est exercé à l'autre extrémité. Ces mesures fournissent une information supplémentaire qui permet une meilleure appréciation de la précontrainte. Les mesures à relever constituent une sujétion pour l'entrepreneur. Sur base de cette information supplémentaire, on distingue ci-après les deux cas suivants.

.../..

6.3.1. Premier cas.

Après la mise en tension terminale côté passif, la précontrainte globale exigée a tout de même été finalement obtenue dans les sections caractéristiques de l'ouvrage. La précontrainte résultante est acceptée.

6.3.2. Second cas.

Après la mise en tension terminale côté passif, la précontrainte globale exigée n'a pas été obtenue dans les sections caractéristiques de l'ouvrage.

Dans ce second cas d'hypothèse, deux solutions sont prises en considération.

6.3.2.1. Première solution.

L'effort global de précontrainte obtenu est techniquement inacceptable par l'administration.

L'entrepreneur doit alors soumettre à l'approbation de l'administration, ses propositions pour atteindre le niveau de sécurité prescrit par le cahier spécial des charges en ce qui concerne la portance, l'utilisation et la durabilité de l'ouvrage d'art. Dans le cas d'une acceptation par l'administration des propositions soumises, toutes les fournitures et tous les travaux nécessaires sont effectués par l'entrepreneur à ses frais.

6.3.2.2. Seconde solution.

L'effort global de précontrainte est techniquement acceptable par l'administration.

L'entrepreneur démontre, à ses frais, que la sécurité, l'utilisation et la durabilité de l'ouvrage d'art sont garanties.

Une réfaction suivant moins-value M est appliquée au prix unitaire de tous les postes relatifs à la précontrainte (câbles de précontrainte et équipements annexes, essais de frottement, mise en tension, injection des gaines). Cette moins-value M est fixée suivant l'expression suivante $M = 2P \left(1 - \frac{F_w}{F_{th}}\right)$ dans laquelle les symboles ont la signification suivante :

P : le prix unitaire contractuel des postes relatifs à la mise en précontrainte (câbles de précontraintes et équipements annexes, essais de frottement, mise en tension, injection des gaines);


F_w : l'effort global de précontrainte obtenu dans la section caractéristique ou se présente le plus petit rapport F_w/F_{th} ;

F_{th} : l'effort global de précontrainte exigé dans la section caractéristique ou se présente le plus petit rapport F_w/F_{th} .

L'effort global de précontrainte obtenu F_w est déterminé en tenant compte des efforts utiles de précontrainte mesurés à la sortie des dispositifs d'ancrage actifs et passifs.

Pour le Ministre:

Le Secrétaire général,



ir R. DE PAEPE

*

*

*

ANNEXE 1

PERTES PAR FROTTEMENT.

Le chapitre 1 ci-après donne les coefficients μ et k tels qu'ils sont actuellement proposés dans le projet de texte de la nouvelle norme "béton" destinée à remplacer les NBN B15-101 à 104.

L'adoption de ces coefficients, ou même des autres coefficients, implique que la mise en oeuvre soit réalisée avec soin et réponde notamment aux conditions du paragraphe 2 ci-après.

1. Pertes par frottement.

Dans une section située à la distance x suivant le tracé de l'armature, d'un organe d'ancrage actif où la contrainte maximale est égale à $\sigma_{pv.o}$ la contrainte σ_{pvx} d'une armature post-tendue est :

$$\sigma_{pvx} = \sigma_{pv.o} \cdot e^{-\mu(\alpha + kx)}$$

μ : coefficient de frottement de l'armature au contact de la gaine.

$\mu = 0.20$: fils ou torons dans des gaines métalliques. Les écarts vont de -10 à +20%.

En cas de lubrification légère, telle que celle obtenue par des huiles solubles, les valeurs précédentes peuvent être multipliées par 0.9.

$\mu = 0.06$: mono-torons graissés dans des gaines en polyéthylène.

Dans le cas d'utilisation d'autres types de gaines, les coefficients adoptés doivent être justifiés dans les documents définissant le système de précontrainte.

.../..

α : somme des déviations angulaires sur la distance x .

k : déviation angulaire involontaire par unité de longueur.

La valeur de k dépend du soin et de la précision de l'exécution.

Elle peut être prise, en moyenne :

1. à 0.01 m^{-1} pour les ouvrages courants.
2. à 0.02 m^{-1} pour les ouvrages construits par encorbellements.

2. Mise en oeuvre des armatures de précontrainte.

2.1. Transport et stockage.

Pendant la période qui s'écoule entre leur livraison sur chantier et leur mise en oeuvre, les armatures, ancrages, coupleurs et gaines sont conservés à l'abri des intempéries; on veille à les isoler de tout contact avec le sol et à éviter toute condensation sur les armatures.

Au moment de leur mise en oeuvre, les fils, barres et torons doivent être propres.

Les armatures recouvertes d'une huile soluble, font l'objet d'une protection particulière contre la poussière, le sable, etc ...

Les armatures protégées individuellement par une gaine en matière synthétique et enduites de graisse sont manipulées avec soin afin d'éviter toute blessure de la gaine.

Tout travail de soudage ou d'oxycoupage est interdit à proximité des armatures et des ancrages.

L'état de surface des armatures et l'étanchéité des gaines sont examinés avant usage, afin de s'assurer de l'absence d'altération nuisible.

2.2. Mise en place.

Toute découpe est réalisée mécaniquement. Tout pliage des armatures, donnant lieu à une déformation permanente, est interdit.

Afin de réduire au minimum les pertes de tension dues aux déviations parasites, les gaines ont un tracé régulier; les points de fixation sont assez nombreux pour respecter les tolérances de position et pour empêcher que les gaines se déplacent pendant la mise en place du béton, soit du fait des efforts développés par cette mise en place (charges lors du coulage, vibration, etc ...), soit du fait de la circulation des ouvriers.

Il est nécessaire de veiller à la régularité du tracé de la gaine et d'empêcher les aplatissements locaux, particulièrement dans le cas de gaines laissées vides pendant le bétonnage.

L'arrimage par soudage des gaines contenant déjà des aciers de précontrainte est interdit.

Les gaines et leurs raccords sont propres et étanches vis-à-vis du béton frais.

La pénétration d'eau et de toute saleté dans les gaines qui sont mises en place dans l'ouvrage doit être empêchée, particulièrement quand il s'agit de gaines à l'intérieur desquelles les câbles sont enfilés après un délai de plusieurs semaines. Les gaines sont munies d'orifices d'évacuation à tous leurs points bas, ainsi que dans les longs tronçons droits rectilignes horizontaux.

Les câbles sont enfilés dans les gaines au maximum trois semaines avant leur mise en tension.

POUR LE MINISTRE :
Le Secrétaire Général,



ir. R. DE PAEPE.