

TECHNIQUE DES POUTRES
PRÉCONTRAINTES
PRÉFABRIQUÉES À L'USINE

M. BENNANI (SADET)

Les ponts à poutres précontraintes préfabriquées à l'usine est une technique couramment utilisée en Europe et en cours d'introduction au Maroc.

Les tabliers de pont sont constitués de poutres multiples préfabriquées précontraintes par armatures adhérentes. Ces poutres sont posées sans étau en phase de construction; elles reposent généralement sur des appuis Néoprène, et sont associées à une dalle béton armé coulée en place sur coffrage perdu.

Une solidarisation transversale complémentaire éventuelle des poutres sur appui peut être assurée par chaînage exécuté par l'entreprise.

Ces ouvrages sont souvent à plusieurs travées isostatiques et le joint de chaussée peut être supprimé en réalisant une continuité du hourdis. La suppression des entretoises a également l'intérêt de réduire notablement la largeur en tête des piles.

PRINCIPE DE LA PRECONTRAINTE

Le principe de la précontrainte par armatures adhérentes consiste à tendre dans les coffrages avant coulage du béton des armatures de précontrainte à haute résistance (fils autres que ronds et lisses) en prenant appui sur des oranges extérieurs à l'élément à fabriquer.

Après durcissement du béton, en désolidarisant ces armatures des oranges extérieurs, les armatures, gênées dès l'extrémité de l'élément fabriqué dans leur retour à leur longueur primitive (donc à leur tension nulle), réalisent par leur adhérence au béton, la précontrainte.

La technologie découlant de ce principe est basée sur la mise en tension des armatures qui prennent appui sur des têtes d'ancrage fixes au moment de la mise en tension des fils qui se fait à l'aide de vérins.

Ces têtes d'ancrage sont désolidarisés des coffrages et sont ancrées dans les extrémités du banc en béton dans les moules, les têtes d'ancrage (rendues mobiles) pivotent vers les poutres, et ainsi les armatures sont détendues lentement et progressivement.

LE MATERIEL DE FABRICATION DES POUTRES

1 - LE BANC DE PRECONTRAINTE

L'ensemble des outils permettant la fabrication d'éléments précontraints est appelé un banc de précontrainte. Ce banc de précontrainte comprend à ses extrémités des dispositifs " d'accrochage " des armatures de précontrainte, appelés les têtes d'ancrage. Entre ces dispositifs est disposé sur le banc le coffrage des poutres à fabriquer.

2 - LES TETES D'ANCRAGE ET DE MISE EN PRECONTRAINTE

La mise en tension des armatures de précontrainte entre les deux têtes d'ancrage se fait par des Vérins unifilaires. Ces têtes (l'une fixe, l'autre mobile) ont deux fonctions :

- maintenir les armatures tendues pendant le cycle de fabrication.
- assurer par le basculement de la tête mobile la détention des armatures, donc la mise en précontrainte des poutres.

Chaque tête comprend deux béquilles. Un chevêtre à plaques horizontales empilables prend appui sur les deux béquilles d'ancrage. Les armatures de précontrainte passent entre les plaques de réparation et prennent appui sur ce chevêtre moyennant des clavettes . Les béquilles de la tête mobile sont montées sur un axe inférieur de rotation. Un vérin à simple effet par béquille s'appuie sur le génie civil du banc. Les vérins sont en position ouverte en période de travail et en écrou vissé sur la tige du piston maintient en sécurité cette ouverture. Pour la mise en précontrainte, après avoir dévissé l'écrou, on relâche la pression, la tête bascule vers l'intérieur du banc et les fils sont ainsi d'étendus de manière progressive et contrôlée.

3 - LE COFFRAGE

- Le coffrage R polyvalent est de :
 - hauteur et largeur du produit réglable,
 - double file de produits.
- Le coffrage I est de hauteur fixe et largeur variable .

Le coffrage comprend un fond plat, raidi par des traverses et des longerons, et posé sur décélérateurs en caoutchouc. Les joues latérales sont ouvrantes (avec joint d'étanchéité) et réglables en largeur. Le système de réglage en largeur doit être robuste afin d'assurer la verticalité des joues latérales quelle que soit la position d'ouverture. Les vibrateurs mobiles sont fixés sur le rail de l'âme du coffrage. Les rampes vapeur pour étuvage sont situés sous le coffrage.

4 - LES PEIGNES D'ABOUT DES POUTRES

Dans les coffrages, les abouts des poutres sont coffrés par des pièces métalliques qui ont la forme exacte de la poutre et que l'on appelle des peignes.

Ces peignes sont percées de trous, suivant une grille, régulière pour laisser passer les armatures de toutes les poutres de la gamme de fabrication du coffrage considéré.

Les armatures de précontrainte répondent donc aux critères suivants:

- enrobage des armatures périphériques,
- distance d'enrobage des armatures entre elles,
- distance entre armatures au moins égale au diamètre des clavettes,
- possibilité de passage des armatures transversales autour des armatures en fonction de leur enrobage et de leur rayon de cintrage.

5 - LES VERINS DE MISE EN TENSION DES ARMATURES, LES CLAVETTES

La mise en tension sur le banc entre les têtes d'ancrage, se fait, armature par armature, par un vérin unifilaire automatique, à grande course (même type de vérin que ceux utilisés en post tension).

Les armatures sont maintenues sur les chevêtres des têtes par l'intermédiaire de clavette composées d'une bague conique et de deux ou trois demi-coquilles filettées à l'intérieur (les mors).

LE PROCESSUS DE FABRICATION DES POUTRES

Les diverses opérations successives de fabrication sont les suivants:

- Nettoyage et huilage du coffrage et peignes pour faciliter le démou-lage. Les jeux de peignes sont entretenus en " temps masqué " hors des heures de fabrication proprement dites.

- Mise en place des armatures passives ensuite des armatures actives par enfilage et des peignes d'about. Confection hors du banc du fer-raillage total des poutres d'un même banc.

- Mise en tension des armatures

S'assurant de la bonne mise en place de la tête mobile. Le vérin doit être en position ouverte et calé par la vis de serrage de sécurité. Les clavettes devant être en bon état. Après contrôle de la bonne mise en place des armatures de précontrainte dans les peignes , on procède à la mise en tension des arma-tures par vérin unifilaire.

- Réglage des longueurs des poutres.

Lors de la mise en tension, les peignes et les armatures ont, en général, été déplacés sur le banc. Il est donc nécessaire de fixer les peignes par rapport au coffrage ou sur les armatures en fonction de la longueur des poutres à fabriquer.

- Réglage des armatures passives (étriers)

Mise en place définitive des armatures passives (soudage interdit); Mise en place éventuelle des inserts, douilles, etc...

Mise en place des crochets de levage.

- Fermeture du coffrage

S'assurer de la bonne mise en place des joints d'étanchéité

- Bétonnage et vibration

Le béton fabriqué dans une centrale à béton doit être fourni à une cadence rapide. C'est une centrale automatique (programmée), pouvant même four-nir du béton prêt à l'emploi. Le transport du béton est effectué par benne accrochée au pont roulant, la vibration est externe (vibrateur mobile fixé sur le coffrage).

- Mise en place des bâches d'étuvage.

Le coffrage est entouré d'une enveloppe de manière à créer une enceinte, la plus petite possible, autour des poutres. Cette bâche parfaitement étanche à la vapeur d'eau et à la chaleur enveloppe le moule et le banc en totalité. L'absence de déperdition calorifique facilite la régulation du traitement thermique.

9 - ETUVAGE

Dans la préfabrication des pièces en béton précontraint par prétension, les éléments subissent, à la mise en précontrainte, les contraintes de compression les plus élevées. Ce qui nécessite, au moment de cette opération, un béton ayant une résistance en compression compatible avec celle prise en compte dans les vérifications des sollicitations normales et tangentes en situation définitive de l'ouvrage. L'objectif principal du traitement est donc d'obtenir rapidement, une résistance en compression élevée, permettant la mise en précontrainte, tout en assurant la pérennité de l'ouvrage, c'est à dire d'avoir également, à 28 jours, une résistance en compression élevée.

La technique utilisée est l'injection de vapeur dans une enceinte entourant le coffrage par rampe située sous le coffrage; ce traitement thermique est régulé par un système électronique de régulation.

Un cycle de traitement thermique comporte obligatoirement quatre étapes successives :

- La préprise
- La montée en température
- Le palier ou maintien à température constante
- Le refroidissement

Quand on parle d'impératif pour un cycle thermique, il s'agit du cycle observé dans le béton. Dans ce cas d'injection de vapeur dans une enceinte, on observe un décalage entre les courbes d'enregistrement dans le béton et celles enregistrées dans l'atmosphère de l'étuve. Le phénomène est dû, d'une part, à la faible conductivité thermique du béton et, d'autre part, à l'exothermie de l'hydratation du ciment. Aussi les cycles des appareils de programmation sont déterminés en fonction de l'expérience.

10 - ESSAIS DES EPROUVETTES DE CONTROLE

Lors du bétonnage, des éprouvettes de béton ont été confectionnées; Celles-ci ont été placées dans l'enceinte d'étuvage et ont subi le même traitement thermique que les poutres. Ces éprouvettes sont écrasées avant le relâchement des armatures pour déterminer les résistances à la compression du béton.

11 - DECOFFRAGE

Le décoffrage est absolument nécessaire avant la mise en précontrainte, le frottement poutre-coffrage devant être minimum, les poutres ne reposent que sur le fond de moule.

12 - MISE EN PRECONTRAINTTE DES POUTRES

Elle se fait par détention progressive des armatures. Les poutres prennent immédiatement une contre flèche; Elles appuient sur le banc par extrémités. Pour les gros éléments il est parfois nécessaire de renforcer leurs abouts par une cornière métallique soudée sur le premier étrier, celle-ci facilite d'ailleurs le glissement de la poutre sur le banc lors de la mise en précontrainte.

13 - CONTROLE DES PRODUITS FINIS

Il se fait en général sur le banc avant évacuation des poutres.

14 - EVACUATION DES PRODUITS SUR LE PARC

A l'aide de deux ponts roulants, ou d'un seul pont, et avec un palonnier, les poutres sont dégagées du banc et mises en stock sur le parc de l'usine, ou directement chargées sur le camion pour leur livraison sur le chantier.

15 - LE BANC EST LIBRE POUR UNE AUTRE FABRICATION

Durée totale du cycle de fabrication :

En général, le cycle est de 24 heures. Pour les poutres présentant des ferraillements d'exécution difficiles, le cycle peut atteindre 48 heures.

Le contrôle des fabrications passe par l'organisation de la qualité dans l'usine.

1 - LE CONTROLE INTERNE OU AUTO-CONTROLE

C'est le contrôle de fabrication exercé à l'usine. Il a pour objet de permettre de s'assurer, en permanence, de la conformité des fabrications aux dispositions prévues par les prescriptions de fabrication. L'usine dispose à ce sujet d'un laboratoire interne indépendant de la production. Les contrôles sont exécutés selon les modalités définies, et les résultats sont consignés dans des registres. C'est auto-contrôle a pour but de prévenir l'usine des variations éventuelles d'un ou plusieurs paramètres de la fabrication, afin de pouvoir agir rapidement pour rectifier ces variations.

2 - LE CONTROLE EXTERNE

Il est assuré par un organisme extérieur indépendant, ayant pour mission de contrôler et de valider la conformité de l'autocontrôle à la réglementation en vigueur.

3 - LE CONTROLE EXTERIEUR

Il peut être exercé par le maître d'ouvrage pour une fabrication donnée, notamment pour les ouvrages en béton à contrôle strict.

4 - LES DIFFERENTS CONTROLES DE LA FABRICATION

Ils sont classés en trois types:

- Les contrôles avant fabrication qui portent essentiellement sur les matériaux constituant :
 - Armatures passives et actives
 - Ciment, adjuvants
 - Granulats
- Les contrôles pendant la fabrication qui sont :
 - Mise en tension
 - Bétonnage, maniabilité, dosage
 - Cycle d'étuvage
 - Résistances du béton

- Les contrôles après la fabrication qui portent sur le produit fini :
 - Vérification d'aspect
 - Contrôle dimensionnel
 - Essai destructif des poutrelles par chargement

Sans oublier également de vérifier l'état du matériel de fabrication qui doit être bien entretenu, ainsi que le matériel de contrôle (presse d'essai, manomètres..). Tous les résultats de contrôle sont transcrits sur 3 registres correspondants. Les contrôles portent sur les diverses dispositions imposées par les prescriptions de fabrication.

AVANTAGES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES

La technique de la précontrainte par armature adhérente offre les avantages suivants :

- Rapidité d'exécution à l'usine.
- Gain sur le coffrage et les délais de réalisations de l'ouvrage.
- La précontrainte permet de réaliser une économie sur le béton et les aciers allégeant la structure et permettant une pratique de manutention.
- Les hauteurs des poutres sont réduites par rapport aux poutres non précontraintes induisant une économie globale sur la conception du projet.
- Les risques de corrosion et le problème permanent de l'entretien de la structure sont supprimés.
- La qualité du produit fabriqué à l'usine est plus maîtrisée et assurée par un autocontrôle surveillé.

ETUDE DE CAS

Le cas présenté ci-après concerne le pont sur oued HAMDALLAH sur la RS 223 au PK 54+04 pour lequel les poutres support du tablier ont été étudiées, fabriquées et transportées par l'usine de SADET à BOUSKOURA.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Pont à 2 travées de 25 mètres de portées.

Le délais de fabrication, transport et pose de la totalité des poutres était de 18 jours ce qui a permis au Maître de l'ouvrage de réceptionner le pont dans les délais prévus.