

Chapitre IV Généralités sur le béton précontraint

1. Introduction

Le béton est un matériau qui dispose d'une grande résistance à la compression par contre, il a une très mauvaise résistance à la traction. Pour y remédier, des armatures en acier ont été incorporées dans le béton, donnant le béton armé.

En 1928, Eugène Freyssinet eut l'idée de préparer le béton afin que ce dernier puisse faire face à des charges et à des tractions qui peuvent présenter un danger pour son intégrité (fissures puis rupture). La préparation du béton consiste à suffisamment le comprimer de façon artificielle et en permanence, pour qu'en tous points, les compressions soient supérieures aux tractions qui se développeront ultérieurement.

L'effort de compression développé à cet effet est appelé « la précontrainte », un vocabulaire utilisé pour la première fois par Eugène Freyssinet en 1933. De ce fait, le béton précontraint est un béton dans lequel on introduit, avant sa mise en service, des tensions opposées à celles qu'il devra subir.

De ce fait, un ouvrage en béton est dit en béton précontraint quand il est soumis à un système d'efforts créés artificiellement pour engendrer des contraintes permanentes qui, composées avec les contraintes dues aux charges extérieures, donnent des contraintes totales comprises entre des limites que le béton peut supporter indéfiniment, en toute sécurité.

2. Principe du béton précontraint

L'objectif de la précontrainte est de soumettre le béton à des contraintes permanentes de compression destinées à compenser les forces de traction qui seront appliquées à l'ouvrage. Les forces de flexion ne viendront alors qu'en déduction de la force de la précontrainte initiale.

Cette précontrainte peut être :

- Une précontrainte partielle : autorisation des contraintes de traction limitées.
- Une précontrainte totale : élimination totale des contraintes de traction.

3. Domaine d'application

Le béton précontraint permet de réaliser des ouvrages soumis à des contraintes importantes, comme les ponts, les silos et les réservoirs, ou des éléments structuraux de faible épaisseur mais de portée importante comme les poutres et les dalles. Il autorise l'exécution des projets architecturaux plus sophistiqués et plus audacieux. Cette technique s'applique aussi bien aux ouvrages coulés sur place qu'aux éléments préfabriqués, aux enceintes des réacteurs nucléaires et aux bâtiments industriels.

4. Avantages et Inconvénients du béton précontraint

a) Avantages

- 1) Economie de matériaux.
- 2) Utilisation de matériaux de qualité supérieure
- 3) Déformabilité réduite
- 4) Grande durabilité
- 5) Assemblages des éléments préfabriqués
- 6) Augmentation des portés économiques.
- 7) Une réduction des risques de corrosion.

b) Inconvénients

- 1) La nécessité de matériaux spécifiques.
- 2) La nécessité de disposer main d'œuvre qualifié.
- 3) L'obligation d'attendre que la mise en tension soit terminée pour pouvoir décinturer et décoffrer.
- 4) La nécessité d'équipements particuliers.
- 5) Risque de rupture à vide par excès de compression.
- 6) Un calcul relativement complexe.

5. Mode de précontraint

Pour réaliser l'opération de précontrainte, il existe deux possibilités.

5.1 Précontrainte par pré-tension

Les armatures de précontrainte sont mise en tension sur un banc de préfabrication , elles traversent d'une extrémité à l'autre , le moule qui sert à construire la poutre. Le béton est coulé dans le moule directement au contact des armatures (Figure I.5).cette technique est sur tout utilisée en bâtiment et un peu en génie civil. En principe la succession des opération est la suivante :

- ✓ Mise en tension des câbles à l'aide de vérins.
- ✓ Coulage du béton.
- ✓ La libration des câbles après le durcissement du béton.
- ✓ Par adhérence, la précontrainte de compression est transmise au béton.

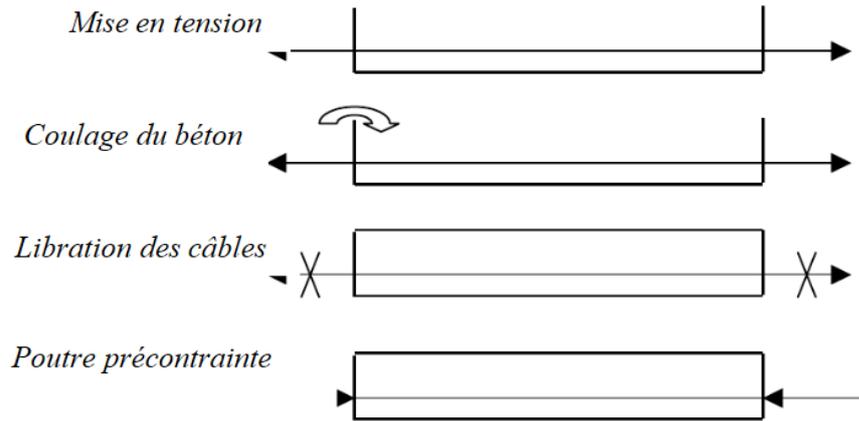


Figure IV.1

5.2 Précontrainte par post-tension

Les armatures de précontrainte sont placées dans des gaines et elles sont mis en tension après durcissement du béton et en prenant appui sur ce dernier (Figure IV.2). En principe la succession des opérations est la suivante :

- Placement des gaines dans le coffrage.
- Coulage du béton.
- Après le durcissement du béton, la mise en tension des câbles.
- Le blocage se fait par différents systèmes de cales sur une zone de béton fretté.
- L'injection d'un coulis de ciment.

Cette technique est utilisée pour les ouvrages importants est, généralement, mise en ouvre sur chantier.

La précontrainte par post tension se présente sous deux formes :

- Une précontrainte par post-tension interne
- Une précontrainte par post-tension externe

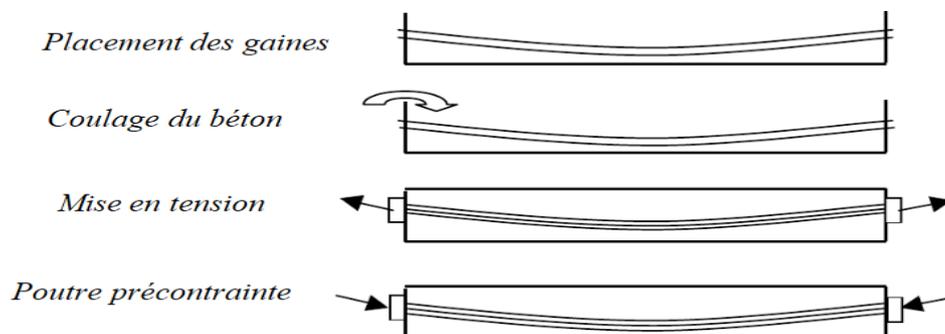


Figure IV.2

La mise en tension peut être faite en tendant l'acier aux deux extrémités de la pièce (actif - actif) ou en tendant une seule extrémité uniquement (actif - passif) (Figure IV.3).



Figure IV.3

L'injection est une opération extrêmement importante, car elle assure un double rôle :

- 1) La protection des armatures de précontrainte contre la corrosion.
- 2) L'amélioration de l'adhérence entre les armatures et les gaines.

L'opération de l'injection doit être réalisée dès que possible après la mise en tension des armatures. Le produit d'injection doit répondre aux impératifs suivants:

- avoir une assez faible viscosité pour couler facilement et pénétrer dans toutes les ouvertures et entre fils des câbles de précontrainte ;
- conserver cette faible viscosité pendant un délai suffisant pour que l'injection puisse s'effectuer dans de bonnes conditions avant le début de prise ;
- après durcissement, avoir une résistance suffisante pour assurer efficacement l'adhérence de l'armature au béton;
- présenter un retrait minimal ;
- ne pas être agressif vis-vis de l'acier de précontrainte.

Le produit d'injection était autrefois un mortier formé de ciment, de sable et de l'eau; aujourd'hui le sable est à peu près complètement abandonné, au profit de coulis de ciment CPA, comportant un adjuvant. L'ensemble d'un procédé de précontrainte comprend, généralement, les éléments suivants :

a)- Dispositif d'ancrage:

On distingue, principalement, deux types d'ancrage:

- Ancrage actif, situé à l'extrémité de la mise en tension.
- Ancrage passif (ancrage mort), situé à l'extrémité opposée à la mise en tension.

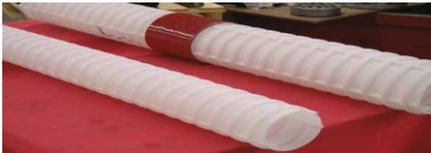
b)- Les coupleurs : dispositif permettant les prolongements des armatures.

c)- Matériels de mise en tension : vérins, pompes d'injection, pompe d'alimentation des vérins etc.

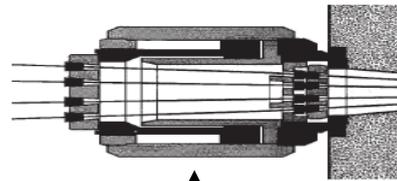
d)- Les accessoires : gaines, tubes d'injection etc.



Anchres actifs multi-torons



Gaines



Verin



Coupleur

6. Matériaux utilisés en béton précontraint

6.1 Béton :

Le béton précontraint exige l'emploi de matériaux de haute qualité, mis en œuvre avec soin. Il permet de les utiliser sous des contraintes élevées, notamment à la construction (c'est-à-dire au moment de la mise en tension des câbles).

6. 1. 1 Principales caractéristiques

✓ Résistance caractéristique en compression

Le repère est la résistance caractéristique f_{c28} mesurée à 28 j d'âge, sur des éprouvettes cylindriques de 200 cm de base et de 32 cm de hauteur. Un résultat est la moyenne arithmétique de trois mesures effectuées sur trois éprouvettes prélevées dans une même gâchée.

Pour les bétons traditionnels, l'allure de la croissance de la résistance du béton f_{cj} en fonction de son âge (j = nombre de jours) est donnée par la formule du BPEL : $f_{cj} = 0.685f_{c28} \lg(j + 1)$

Par ailleurs, on admet, pour les calculs, qu'au-delà de 28 j, la résistance plafonne à sa valeur f_{c28} , bien qu'en pratique elle continue à augmenter.

✓ Résistance caractéristique en traction

Elle est définie conventionnellement (à j jours) par la relation : $f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{cj}$

✓ Déformations longitudinales instantanées

Elles peuvent être calculées à l'aide du module de déformation instantané : $E_{ij} = 11000\sqrt[3]{f_{cj}}$

Ainsi que le module de déformation différé $E_{vj} = 3700\sqrt[3]{f_{cj}}$

✓ **Diagramme contrainte- déformation**

Dans les calculs aux ELU, lorsqu'on n'a pas besoin d'une évaluation précise des déformations, on peut adopter le diagramme parabole-rectangle(figure IV.4).

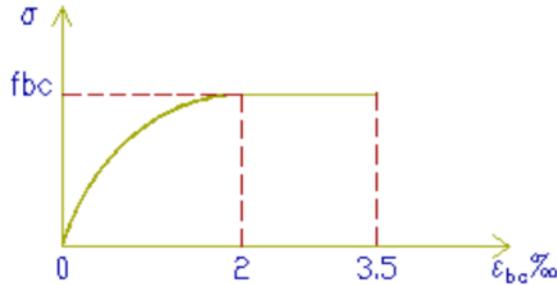


Figure (IV .4)

Dans le cas contraire, adopter le diagramme de la forme suivante (Figure IV.5)

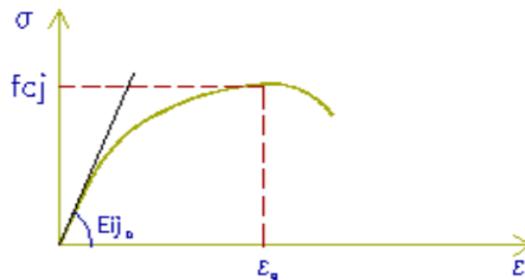


Figure (IV .5)

✓ **Retrait**

Le retrait est un phénomène de raccourcissement du béton dû au départ de l'eau libre interne.

Ce raccourcissement peut être exprimée sous la forme suivante :

$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_r r(t)$$

Où : ε_r est le retrait final du béton,

$r(t)$ est fonction du temps variant de 0 à 1 quand le temps varie de 0 à l'infini à partir du bétonnage.

Par ailleurs, le BPEL propose, pour la loi d'évolution du retrait : $r(t) = \frac{t}{t+9 r_m}$

t : l'âge du béton, en jour

r_m : le rayon moyen de la pièce, $r_m = \frac{B}{U}$ (cm)

Le retrait final dépend de plusieurs facteurs :

- la composition du béton (fonction croissante du rapport E/C)
- de l'hygrométrie ρ_h du milieu ambiant
- les dimensions transversales de la pièce, représentées par son rayon moyen (r_m)

✓ **Fluage de béton**

C'est le raccourcissement progressif du béton sous charges constantes. Ce phénomène est aussi, lié à la migration de l'eau à l'intérieur du béton. il dépend de plusieurs paramètres :

- l'intensité et la durée de la charge
- le type et dosage de ciment
- le rapport E/C
- l'âge du béton au moment du chargement*
- la température et l'humidité de milieu environnant
- les dimensions de l'élément

On peut exprimer le fluage par la relation : $\varepsilon_{fl} = \varepsilon_{ic1} K_{fl}(t_1 - t_0) f(t - t_1)$

Où t_0 : La date de bétonnage ;

t_1 : La date de mise en charge ;

ε_{ic1} : La déformation instantanée du béton sous l'effet de la contrainte σ_1

K_{fl} : Le coefficient de fluage qui dépend de l'âge ($t_1 - t_0$) du béton au moment où il subit la contrainte σ_1

$f(t - t_1)$: une fonction de la durée du chargement ($t - t_1$).

On peut également mettre ε_{fl} sous la forme : $\varepsilon_{fl} = \varepsilon_i \emptyset (t_1 - t_0) f(t - t_1)$

ε_i : la déformation réelle instantanée : $\varepsilon_i = \sigma_1 / E_{ij}$

\emptyset : le rapport entre la déformation finale du fluage et la déformation réelle instantanée :

$\emptyset = K_{fl} E_{ij} / E_{i28}$, dans les cas courant on prend $\emptyset = 2$

✓ **Coefficient de poisson**

Le coefficient de poisson du béton est pris égal à :

- 0.2 en zones non fissurées
- Zéros en zones fissurées

✓ **Coefficient de dilatation thermique**

Le coefficient de dilatation thermique est pris égal à 10^{-5} par degré C

6.2 Acier pour câbles de précontrainte

L'acier pour câbles de précontrainte doit être de haute résistance, pour pouvoir être tendu à un taux initial très élevé (couramment compris entre 1 200 et 1 500 MPa, sauf pour les barres). Cette tension initiale, pas très éloignée de la contrainte de rupture, n'est pas dangereuse car elle diminue progressivement par suite des pertes de précontrainte. Par ailleurs, la tension utile finale est d'autant

plus élevée que le sont davantage la tension initiale et donc la résistance de l'acier. Comme armature de précontraint, on utilise trois formes

- les fils;
- les barres;
- les torons.

6.2.1 Fils

Par convention, les fils ont un diamètre inférieur ou égal à 12,2 mm, ce qui permet de les livrer en couronnes. Ils peuvent être soit ronds et lisses (pour la post-tension) soit au contraire nervurés, ou crantés, ou ondulés afin d'améliorer leur adhérence au béton (pré-tension). Les fils les plus couramment utilisés ont des diamètres de 5 mm, 7 mm ou 8 mm.

6.2.2 Barres

De diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm, elles ne sont livrées que rectilignes (et sous longueur maximale de l'ordre de 12 m). Elles peuvent être soit lisses, soit nervurées, les nervurations faisant alors office de filetage grossier (cas des barres Dywidag).

Les diamètres les plus courants sont 26 mm, 32 mm et 36 mm. Mais il existe des barres plus grosses (Macalloy Ø 40, 50 et même 75 mm). De telles armatures ne sont employées qu'en post-tension.

6.2.3 Torons

Ce sont des ensembles de fils enroulés hélicoïdalement les uns sur les autres (cas des torsades à trois fils) ou autour d'un fil central en une ou plusieurs couches. Les torons les plus courants sont à 7 fils et sont désignés par leur diamètre nominal (diamètre du cercle circonscrit aux fils dans une section droite). Les diamètres les plus utilisés sont les suivants :

12,5 mm (fréquemment désigné par T13)
12,9 mm (T13S)
15,2 mm (T15)
15,7 mm (T15S)

Ces armatures sont employées aussi bien en pré-tension (dans les pièces importantes) qu'en post-tension.

6. 2. 3 Principales caractéristiques

✓ **Module d'élasticité longitudinal**

$E = 200000$ MPa pour les fils et les barres

$E = 190000$ MPa pour les torons

✓ **Coefficient de relaxation ρ_{1000}**

$\rho_{1000} = 2.5\%$ pour la classe TBR (Tés Basse Relaxation)

$\rho_{1000} = 8\%$ pour la classe RN (Relaxation Normale)

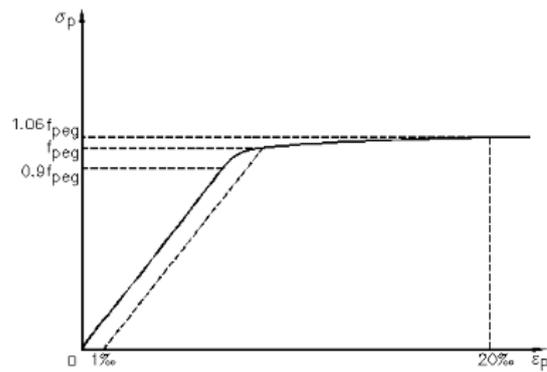
✓ Diagramme Contrainte –déformation

Figure IV.6

f_{prg} : la contrainte maximale garantie à rupture
 f_{peg} : la contrainte à la limite conventionnelle d'élasticité

✓ Adhérence au béton✓ Coefficient de dilatation thermique

Le coefficient de dilatation thermique est pris égal à 10^{-5} par degré C