

Chapitre 3

Les modes de précontraintes

INTRODUCTION GENERAL

Dans un élément en **béton armé**, l'armature en acier est destinée à se substituer entièrement au béton dans les zones tendues, lorsque celui-ci se fissure par suite d'allongement. Sous charge, les allongements communs des armatures du béton deviennent trop grands, le béton se fissure (micro fissures), l'acier supporte alors seul tout l'effort de traction. Dans un élément poutre en béton précontraint, l'acier précontraint équilibre les efforts des charges extérieures et évite ainsi au béton de se fissurer sous les charges d'exploitation. La compression initiale introduite grâce à la précontrainte des poutres s'oppose aux tractions engendrées par les charges et surcharges appliquées.

Par rapport au béton armé classique, **le béton précontraint** comporte un ajout de câble permettant de réaliser des structures beaucoup **plus légères**, donc de **très grande portée**, là où le béton armé se serait écroulé sous son propre poids.

Le béton est un matériau hétérogène qui présente une très bonne résistance à la compression, par contre, il a une très mauvaise résistance à la traction. C'est ainsi qu'une poutre reposant sur deux appuis, soumise à l'effet de son poids propre (G) et d'une charge d'exploitation (Q), subit des contraintes de flexion qui se traduisent par une **zone comprimée en partie supérieure** et par une **zone tendue en partie inférieure** (Figure 1).

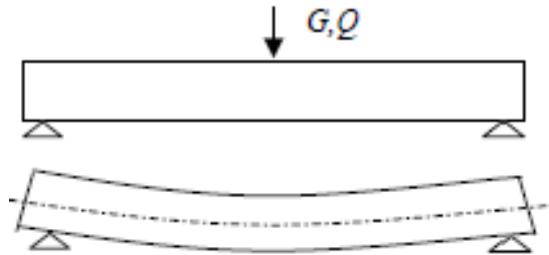


Figure 1

La poutre subit également **des contraintes de cisaillement** dues aux efforts tranchants qui se produisent vers les appuis. Ces contraintes occasionnent des fissures à 45° que le béton ne peut reprendre seul.

Dans ce cas de figure, deux solutions sont possibles :

Solution N°1: L'ajout d'une quantité d'armatures capable de reprendre les efforts de traction dans le béton (Principe du béton armé).

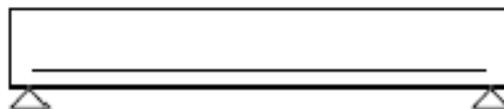


Figure 2

Solution N°2 : L'application d'un effort de compression axial qui s'oppose aux contraintes de traction dues aux chargements (Principe du béton précontraint)



Figure 3

2. Principe de la précontrainte

La précontrainte a pour objectif, en imposant aux éléments un effort de compression axial judicieusement appliqué, de supprimer (ou fortement limiter) les sollicitations de traction dans le béton (Figure 4).

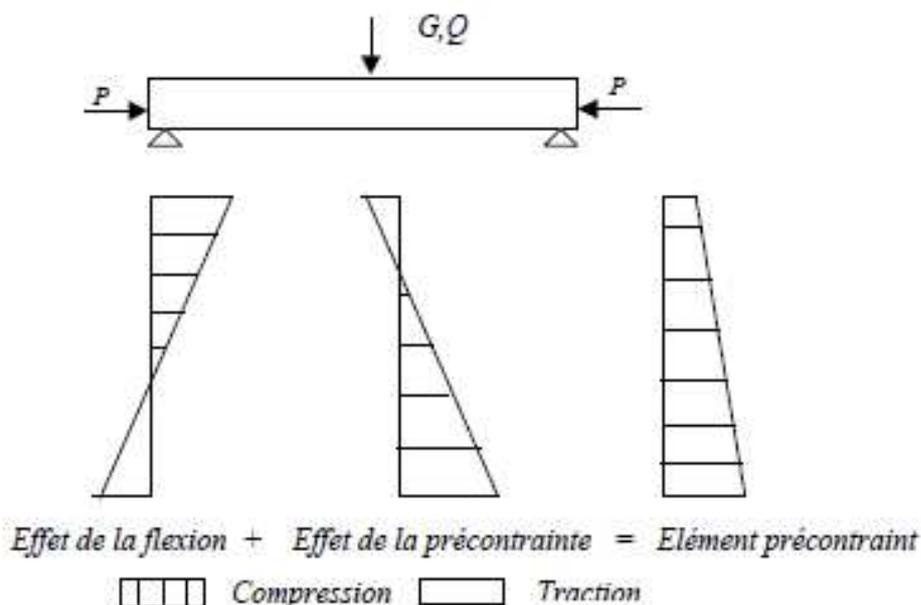


Figure 4

Cette précontrainte peut être:

Une précontrainte partielle: autorisation des contraintes de traction limitées.

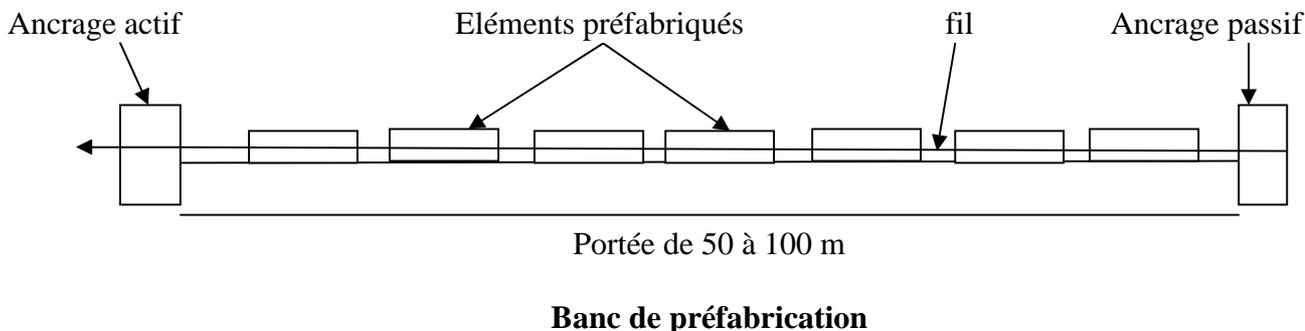
Une précontrainte totale: élimination totale des contraintes de traction.

3. Mode de précontrainte

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

3.1. Précontrainte par pré-tension

Dans ce procédé, les câbles de précontrainte sont tendus entre deux massifs solidement ancrés avant le coulage du béton (Figure 5). Cette technique est surtout employée sur les bancs de préfabrication (figure ci-dessous), pour réaliser des éléments répétitifs.



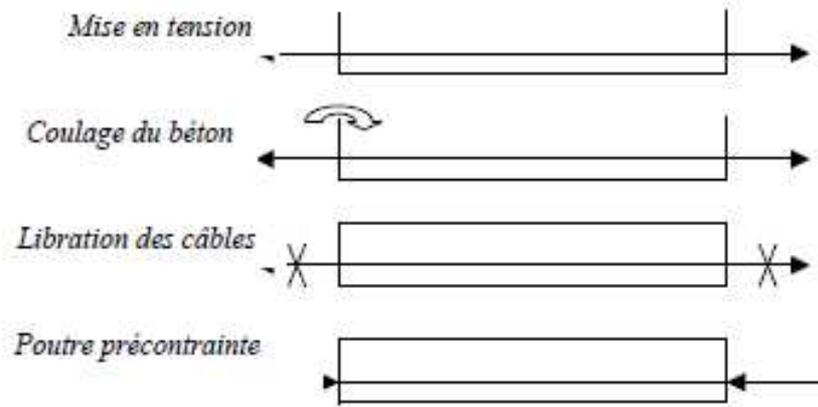


FIGURE 5

Etapas générales de réalisation

- Mise en tension des câbles.
- Coulage du béton.
- La libration des câbles après le durcissement du béton.
Par adhérence, la précontrainte de compression est transmise au béton. D'une façon plus détaillée, la méthode de précontrainte par pré-tension suit les cycles suivants :
- Nettoyage des moules ;
- Mise en place d'huile de décoffrage des moules;
- Déroulement des armatures actives et blocage aux extrémités dans des plaques ;
- Mise en place des armatures passives ;
- Mise en place des moules dans leur position finale;
- Mise en place des déviateurs éventuels ;
- Mise en tension des armatures par des vérins ;
- Mise en place du béton par pont-roulant ou grue ;
- Lissage de la partie supérieure ;
- Vibration du béton ;
- Étuvage ou chauffage du béton ;
- Décoffrage ;
- Dé-tension des armatures actives ;
- Découpage des fils situés entre deux éléments préfabriqués ;
- Manutention et stockage.

3.2. Précontrainte par post-tension

Ce procédé consiste à tendre les câbles de précontrainte, après coulage et durcissement du béton, en prenant appui sur la pièce à comprimer (Figure 6). Cette technique est utilisée pour les ouvrages importants est, généralement, mise en œuvre sur chantier.

La précontrainte par post-tension se présente sous deux formes :

Une précontrainte par post-tension interne

Une précontrainte par post-tension externe

Etapas générales de réalisation

- 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

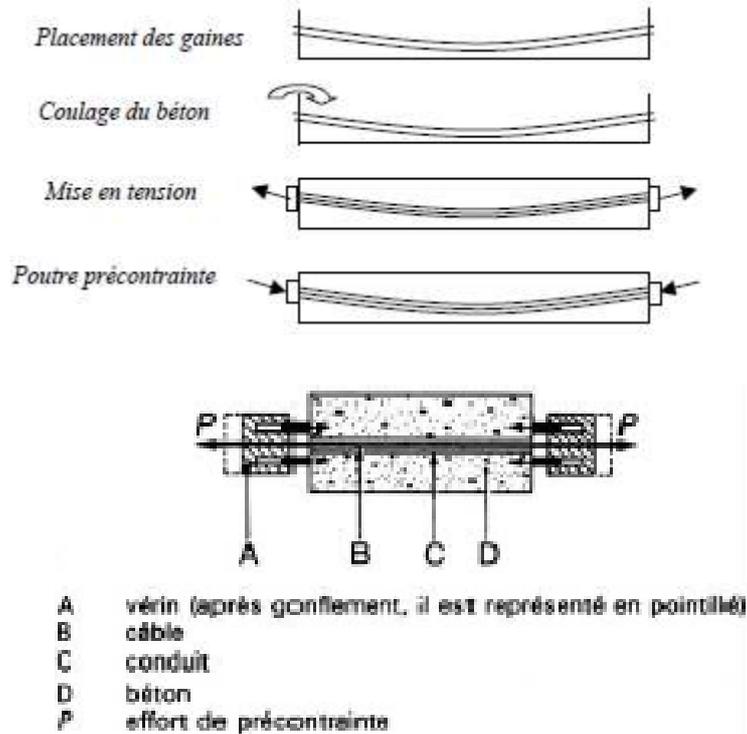


Figure 6

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 7).

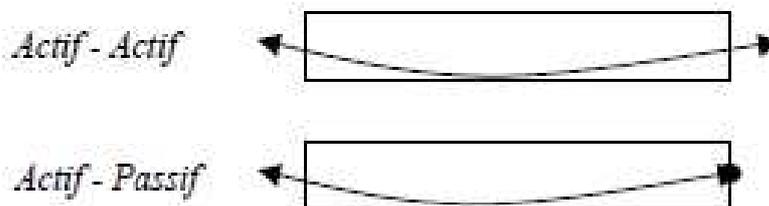


Figure 7

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;
- Présente 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.

3.3. Comparaison des deux procédés

Une comparaison entre les deux procédés (post-tension et pré-tension) permet de constater les observations suivantes :

Pré-tension

- 1) L'économie des gaines, des dispositifs d'ancrage et de l'opération de l'injection.
- 2) La nécessité des installations très lourdes ce qui limite, par voie de conséquence, le choix des formes.
- 3) La simplicité de la réalisation du procédé.
- 4) Une bonne collaboration du béton et des armatures.
- 5) La difficulté de réalisation des tracés courbes d'armatures.
- 6) L'impossibilité de régler l'effort dans les armatures après la mise en tension.

Post- tension

- 1) Ne demande aucune installation fixe puisque; c'est sur la pièce elle même que s'appuie le vérin de précontrainte.
- 2) Elle permet le choix des différentes formes.
- 3) La possibilité de régler l'effort de précontrainte, ce qui permet d'adapter le procédé à l'évolution de la masse de l'ouvrage
- 4) La facilité de réalisation des tracés de courbes d'armature et de précontrainte.

5. Domaine d'application

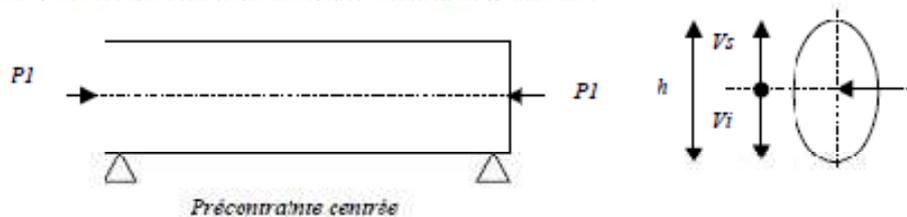
Grâce à ses avantages le béton précontraint est utilisé dans les ouvrages d'art et les bâtiments de dimensions importantes: il est d'utilisation courante pour les ponts et d'un emploi très répandu pour les poutrelles préfabriquées des planchers de bâtiments.

On le retrouve dans de nombreux autres types d'ouvrages, parmi lesquels nous citerons les réservoirs, les pieux de fondation étirant d'ancrage, certains ouvrages maritimes, les barrages, les enceintes de réacteurs nucléaires...

Applications:

Application 1

Soit une poutre de section B et avec un moment d'inertie I soumise à un moment fléchissant M et à un effort de précontrainte centré P_1 .



- Déterminer le diagramme des contraintes.
- Dédire l'expression de l'effort de précontrainte P_1 .

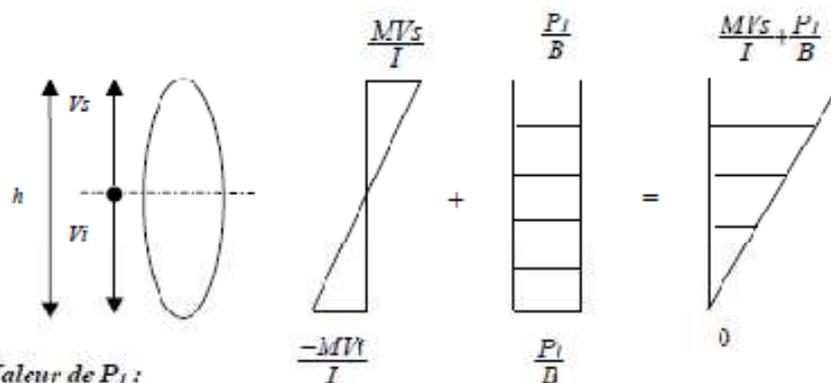
Application numérique

Soit la section rectangulaire (50,120) cm soumise à un moment extérieur $M=0.90 \text{ MNm}$.

- Déterminer la valeur de P_1 .
- Schématiser le diagramme des contraintes.

Solution

1. Diagramme des contraintes

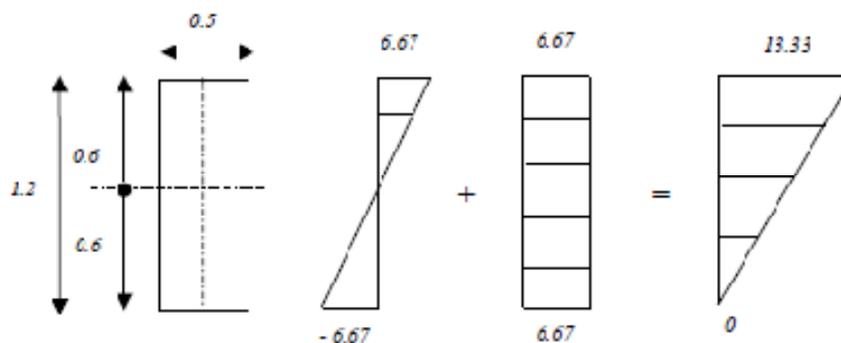


2. Valeur de P_1 :

Du diagramme des contraintes, on a :

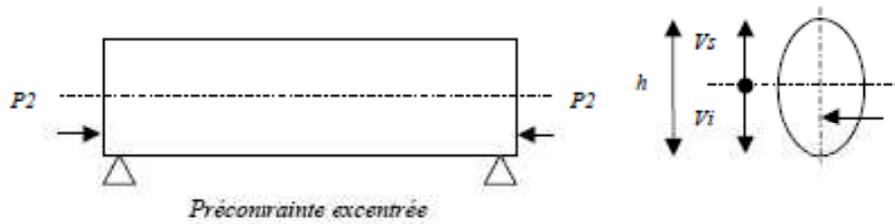
$$-\frac{MV_i}{I} + \frac{P_1}{B} = 0 \Rightarrow P_1 = \frac{MV_i}{I} B$$

AN : $P_1 = 4 \text{ MN}$



Application 2

Soit une poutre de section B et avec un moment d'inertie I soumise un moment fléchissant M et un effort de précontrainte P_2 excentré de « e ».



- Déterminer le digramme des contraintes.
- Dédure l'expression de l'effort de précontrainte P_2 .

Application numérique

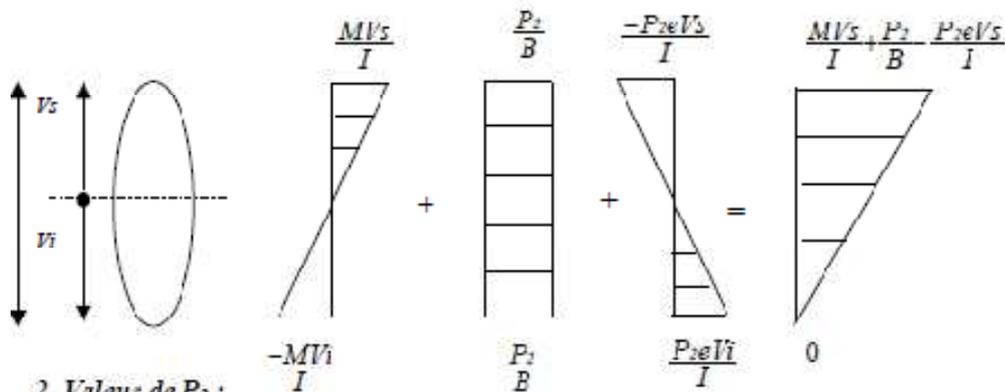
Soit la section rectangulaire (50,120) cm soumise à un moment extérieur $M=0.80$ MNm.

Dans le deuxième cas de précontrainte excentrée, en supposant que l'on puisse excentrer au maximum de $e= -0.45$ m la position du câble.

- Déterminer la valeur de P_1 .
- Schématiser le digramme des contraintes

Solution

1. Digramme des contraintes

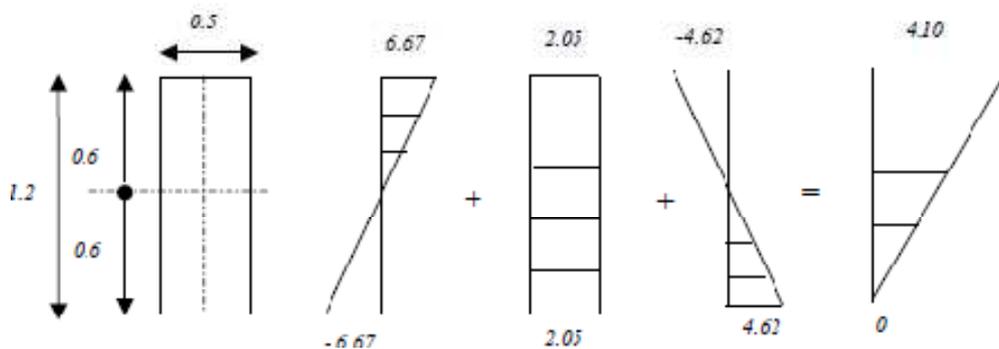


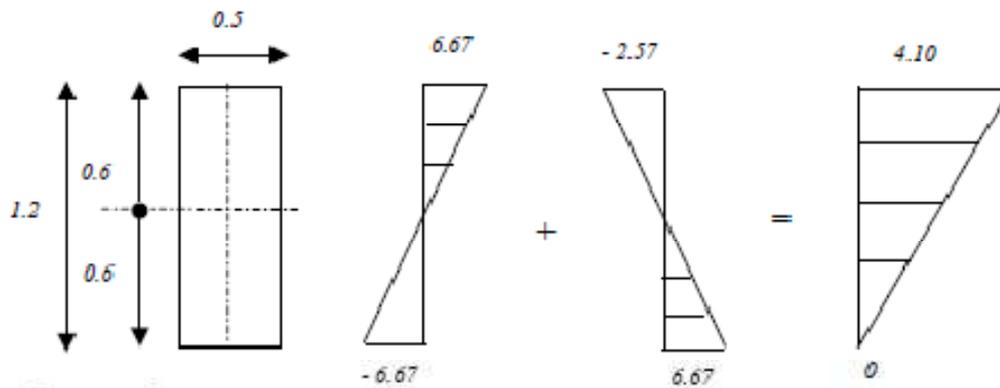
2. Valeur de P_2 :

Du diagramme des contraintes, on a :

$$-\frac{Mv_i}{I} + \frac{P_2}{B} + \frac{P_2eV_i}{I} = 0 \rightarrow P_2 = \frac{Mv_i}{I\left(\frac{1}{B} + \frac{eV_i}{I}\right)}$$

AN : $P_2 = 1\,231$ MN





Constatation :

Il est clair que grâce à l'excentrement de la précontrainte, on a diminué l'effort de précontrainte de 4 à 1.231 MN et la contrainte maximum du béton de 13.34 à 4.1 MPa, d'où une économie substantielle d'acier et de béton.

Application 3

Soit une poutre de section rectangulaire (50x120) cm d'un élément de classe I soumise aux moments $M_{min}=1.25 \text{ MNm}$ et $M_{max}=3.2 \text{ MNm}$.

La valeur de la précontrainte et de son excentricité sont données égales à $P=5.1$ et $e_o = -0.44 \text{ m}$.

➤ Déterminer le diagramme des contraintes sous moments maximum et minimum.

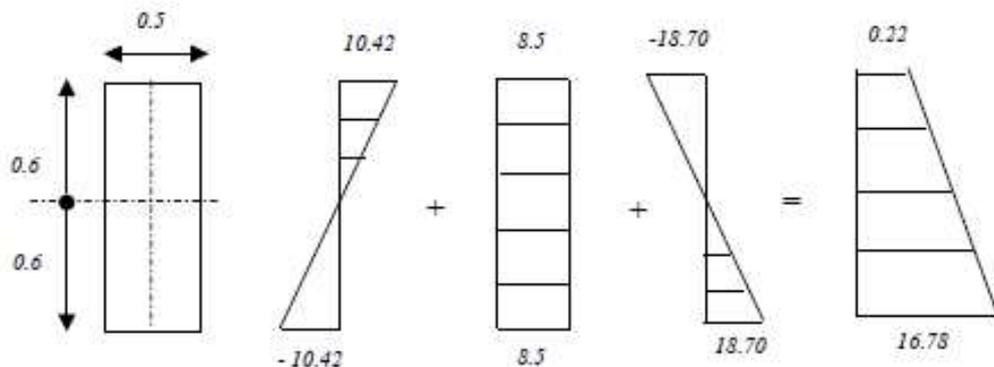
Solution

Sous moment minimum

Effort de précontrainte centré = 8.5 MPa

Effort de précontrainte de flexion = (+ ou -) 18.70 MPa

Effort de flexion du moment min = (+ ou -) 10.42 MPa

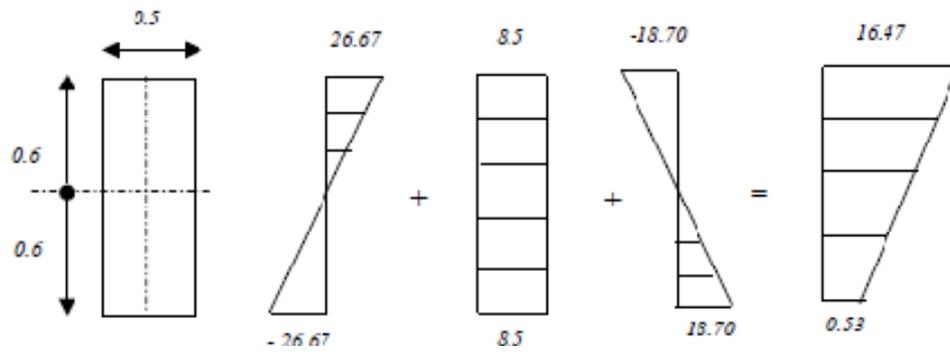


Sous moment maximum

Effort de précontrainte centré = 8.5 MPa

Effort de précontrainte de flexion = (+ ou -) 18.70 MPa

Effort de flexion du moment max = (+ ou -) 26.67 MPa



Application 4

Soit une poutre de section rectangulaire (100, h) cm soumise à la précontrainte.

- Déterminer la hauteur de la poutre.
- Déterminer la force de précontrainte.
- Déterminer l'excentricité de la force de précontrainte.

Contrainte limite du béton :

- ❖ Traction = 0
- ❖ Compression = 1200 t/m^2

NB : On néglige le poids propre de la poutre

