

Le Béton précontraint

(Principes et propriétés, expériences, premières réalisations)

par F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège.

(Voir début dans notre numéro du 21 octobre 1950).

La précontrainte du prisme de béton ne doit pas nécessairement être axiale et uniforme; elle peut être désaxée et non uniforme. Elle l'est nécessairement lorsque la pièce précontrainte en béton n'est pas droite, mais quelque peu courbée et déviée, figurant un arc de courbure plus ou moins grande sous-tendu par un tirant. La résultante des tensions de précontrainte est, dans ce cas, désaxée vers la partie de la section qui sera tendue sous l'effet des sollicitations extérieures, la tension maximum globale de compression sera diminuée d'autant. Les diagrammes ci-contre sont bien compréhensibles pour le cas de la sollicitation extérieure par flexion simple (fig. 3).

Si le sens de la flexion est rigoureusement invariable, la précontrainte non uniforme est ration-

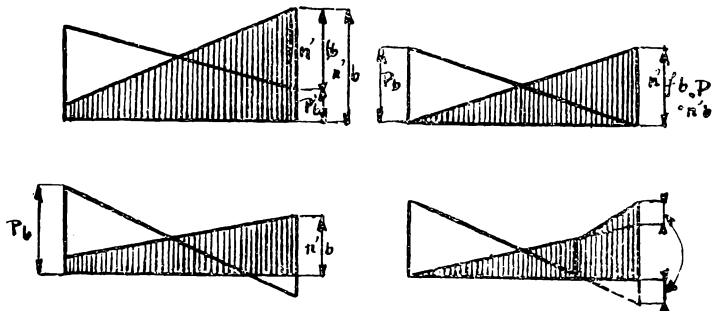


Fig. 3.

nelle et économique; elle a l'avantage de moins affecter le coefficient de sécurité à l'écrasement du béton comprimé et d'exiger moins d'acier. Comme elle développe une flexion initiale inverse à celle prévue sous l'effet des charges, elle produit une contreflèche initiale qui peut réaliser l'auto-décoffrage du béton par précontrainte, aussi bien si la pièce est composée de tronçons préfabriqués que moulée d'une manière monolithique. L'observation de ces contreflèches procure un indice global de l'effet de la précontrainte et contribue à la sécurité.

Deux dispositions principales des tirants de précontrainte sont réalisables pour une pièce fléchie sur deux appuis simples d'extrémité. Si la pièce est droite, prismatique, le tirant de précontrainte peut présenter une certaine courbure qui le rend

grosso-modo assimilable à un câble tendu de pont-suspendu auto-ancré (fig. 4). Si la pièce possède au contraire elle-même une certaine courbure, le tirant peut être rectiligne et assimilable au

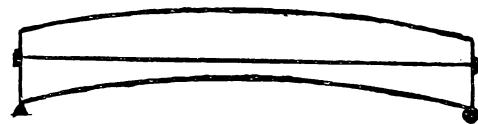
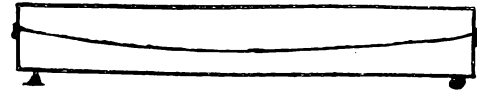


Fig. 4.

tendeur d'un arc à tirant (fig. 4). Les déformations réciproques pendant la mise en précontrainte puis sous l'effet des sollicitations extérieures font varier la tension du tirant de précontrainte, mais d'une manière très modérée par analogie avec ce qui a été indiqué dans le cas de la précontrainte axiale uniforme, tant que l'on n'envisage que les déformations considérées comme élastiques.

La résistance aux efforts tranchants est assurée, comme dans le cas de la précontrainte axiale uniforme, par l'intervention du frottement engendré par la précontrainte, selon la notion du cisaillement effectif. Cependant, cette action doit être examinée de plus près dans les régions d'about de la pièce où domine l'effet de l'effort tranchant. On sait que les efforts tranchants engendrent dans ces régions des tensions principales d'extension obliques par rapport à l'axe neutre. Elles sont atténuées par la précontrainte, dans une mesure qui dépend de son intensité et des dispositions relatives du tirant de précontrainte et de la pièce et peuvent requérir éventuellement la dispersion du tirant de précontrainte en éventail près des abouts de la pièce ou l'adjonction au tirant principal longitudinal de tirants de précontrainte secondaires obliques ou transversaux.

Une difficulté réelle résulte du fait que, dans les dispositions envisagées, des réactions naissent nécessairement entre le tirant et le béton qui l'enveloppe et engendrent des forces de frottement

LES ATELIERS DE CONSTRUCTION Alexandre GREFFIN & Fils

S. P. R. L.

Tél. : 26.66.75
Fondée en 1857

23, rue du Billard - MOLENBEEK-BRUXELLES

C. Ch. Post. 24.011
Reg. Com. Brux. n° 11524

Vannes et Appareils pour Distributions d'Eau et Incendie

Pièces spéciales pour Réseaux, Fonte et Eternit. — Spécialité : Bouches d'Incendie.

(10.676)

entre ces éléments lorsque la mise en précontrainte est réalisée en tendant le tirant par une de ses extrémités. La répartition de ces forces de frottement est mal connue et demande à être étudiée. Elle altère la valeur de la précontrainte qui n'est éventuellement plus uniforme sur toute sa longueur. Elle peut limiter la longueur des tirants à une valeur au delà de laquelle la partie supplémentaire ne recevrait théoriquement plus qu'une tension nulle ou quasi. Cette question doit être résolue par les procédés de mise en précontrainte, c'est-à-dire d'une manière technique, mais il est nécessaire de signaler le principe de la difficulté.

Une pièce précontrainte non uniformément n'est plus assimilable à une poutrelle métallique ; elle ne possède plus la propriété d'égalité de résistance dans les deux sens de flexion. Comme les pièces de flexion en béton armé à armature simple ou dissymétrique, elle est spécialisée et bien davantage, car le tirant de précontrainte n'est pas purement passif comme l'armature du béton armé ; il crée activement un moment fléchissant initial qui, s'il ne laisse pas subsister la résistance naturelle limitée du béton à la flexion dans ce sens, ne peut cependant pas l'épuiser entièrement, de telle sorte qu'une faible sollicitation de flexion qui s'ajouterait à celle engendrée par la précontrainte entraînerait naturellement la rupture et la désorganisation de la pièce. On doit donc considérer de telles pièces comme peu sûres en toute éventualité de flexions accidentelles renversées, par exemple sous l'effet de tremblements de terre, du souffle d'explosifs, etc. Cette relative vulnérabilité est la rançon d'une « spécialisation » poussée à l'extrême des capacités de résistance des matériaux. D'autres caractères de certaines constructions « précoces » en béton précontraint, dont il est question plus loin, peuvent contribuer à cette vulnérabilité.

Nous n'avons dans ce qui précède pris en considération que les déformations élastiques ou réversibles. Mais la précontrainte subit des effets plus importants d'autres déformations qui sont le retrait et le fluage du béton ainsi que la relaxation de l'acier du tirant. Pour les mêmes raisons de simplification que précédemment, nous nous bornerons encore à examiner ces efforts dans le cas de la précontrainte axiale uniforme.

Si la pièce en béton subit une diminution de longueur kl , la tension du tirant diminue de $kE_a w_a$ et devient $P - kE_a w_a = P'$. Ce raccourcissement provient d'abord du retrait du béton, dont il a été question plus haut. D'autre part, sous l'effet d'une compression de courte durée, la contraction du béton atteint quasi instantanément sa valeur habituellement considérée $d_b = \frac{n'_b}{E_b}$,

correspondant à ce que l'on peut appeler le module d'élasticité instantané E_b , qui est celui que l'on envisage habituellement.

Mais si la compression est appliquée d'une manière permanente, on constate que la contraction va croissant depuis l'origine de l'application suivant une loi exponentielle tendant vers une valeur limite, atteinte pratiquement après une durée assez longue. Ce phénomène de la déformation retardée, appelée aussi fluage correspond à un module d'élasticité limite $E'_b < E_b$, car on observe que la déformation limite est très approximativement proportionnelle à

la compression appliquée. Il s'agit donc de la déformation limite sous compression constante.

Dans le cas du béton précontraint, le processus est un peu plus compliqué. La compression est décroissante en raison du raccourcissement du béton qui fait diminuer la tension du tirant, en même temps que par effet de relaxation du béton qui correspond à une diminution de la compression en fonction du temps sous l'effet d'une déformation constante. Cette relaxation est un aspect réciproque de la déformation retardée : sous l'effet d'un raccourcissement imposé d'une manière permanente au béton, la compression initiale diminue avec le temps et tend vers une limite inférieure.

Il résulte de tout cela que les effets de ces raccourcissements différés du béton ne sont pas très simples à apprécier. Le béton n'est d'ailleurs pas lui-même une matière simple, mais un conglomerat complexe, hétérogène et variable avec ses composants, sa composition, sa mise en œuvre, son âge et éventuellement d'autres influences. Il est donc difficile d'exprimer en valeurs numériques les facteurs destinés à permettre l'appréciation de ces effets. Celles auxquelles on a recours sont des moyennes par rapport auxquelles les écarts relatifs peuvent être importants. La sécurité fait préférer des valeurs qui soient plutôt par excès, mais l'économie peut en être quelque peu affectée.

Il n'est pas excessif de prendre pour la valeur du coefficient spécifique de retrait 0,0004 dans nos régions pour du bon béton de qualité courante. Pour la déformation différée du béton on peut de même admettre $E'_b = 0,5 E_b$.

Reprenons l'exemple précédent :

$$w_b = 400 \text{ cm}^2$$

$$w_a = 5 \text{ cm}^2.$$

Si $P = 40.000 \text{ kg}$, $P' = 35.000 \text{ kg}$, ce qui entraînerait une perte de précontrainte de 5.000 kg ou 12,5 %.

Ce chiffre n'a rien d'excessif. Sous un climat sec et chaud, le retrait peut être plus grand. Un béton de mauvaise qualité et assez déformable peut donner lieu à un fluage relativement plus important. Sous ce rapport, il est désirable d'employer pour le béton précontraint, des compositions à haute compacité, peu déformables, mises en œuvre très sèches, ce qui est possible par la vibration. Il est aussi utile d'appliquer la précontrainte à un béton assez âgé ; le retrait est alors partiellement réalisé et la déformabilité est fortement diminuée. Cela peut se faire pour du béton monolithique moulé en place et avec plus de sûreté encore pour des éléments préfabriqués en usine, dont les qualités de résistance et de faible déformabilité lors de la mise en précontrainte peuvent être garanties par un contrôle.

Si, par exemple, dans le calcul précédent, on peut ramener le coefficient de retrait à 0,00025 et considérer un béton moins déformable $P' = 36.363 \text{ kg}$ d'où une perte de précontrainte de 3.637 kg ou 9 %.

On remarque d'après cela la nécessité d'utiliser pour le tirant de précontrainte des sections faibles et des tensions élevées, sinon les pertes de précontrainte ramèneraient celle-ci à une valeur insignifiante. C'est d'ailleurs la raison de l'échec des premières tentatives de précontrainte. La difficulté a été surmontée sous l'inspiration de M. Eug. Freyssinet en constituant les tirants de fil d'acier à haute résistance et en utilisant des tensions de

l'ordre de 80 à 100 kg/mm². Seulement, il est alors apparu que, sous de telles tensions, le tirant est le siège d'allongements différés de caractère analogue à celui des déformations différées du béton. Ils peuvent augmenter la déformation élastique instantanée de plusieurs %, d'où une diminution de précontrainte du même ordre de grandeur. Si on envisageait une valeur moyenne d'environ 12 %, la perte de précontrainte totale pourrait atteindre 18 à 21 % dans les exemples précités. Nous pensons que ces valeurs peuvent être atteintes ou même dépassées dans des éléments mal exécutés. La relaxation de l'acier peut être diminuée par l'emploi de fils de qualité spéciale et aussi en tendant initialement les fils avec une majoration de tension de 10 % maintenue pendant quelques minutes ; le fluage ultérieur des fils est réduit.

Des métallurgistes et des constructeurs belges sont entrés dans la voie d'élaborer des barres en acier spécialement alliées et traitées thermiquement de manière à avoir une limite élastique élevée, supérieure à 100 kg/mm². De plus, ces barres ainsi préparées ont une limite de fluage élevée, c'est-à-dire qu'on peut les soumettre à des tensions de l'ordre de 70 à 80 kg/mm² sans fluage ou relaxation.

Moyennant les précautions les plus attentives, on peut espérer que la perte de précontrainte ne dépassera pas 15 %, valeur éventuellement portée en compte dans les calculs. Mais il faut reconnaître que ce facteur n'a pas encore été confirmé par des épreuves de longue durée et que des pertes plus considérables sont possibles par manque de précaution ou malfaçon.

Une variation éventuelle de température du béton par rapport au tirant entraîne une perte de précontrainte supplémentaire en cas d'abaissement de température et l'inverse en cas d'élévation. Le calcul doit tenir compte raisonnablement de ces facteurs.

En vue de la réalisation de la jonction Meuse-Rhin

Les députés anversois Joris et Koninckx ont déposé sur le bureau de la Chambre un amendement au budget extraordinaire en vue de la construction du canal Visé-Meuse qui doit assurer la liaison directe entre Anvers, la Meuse et le Rhin.

Un premier crédit à inscrire au projet de budget de 1951 est demandé. Ce crédit figurerait sous le libellé « **Creusement de jonction entre le Canal Albert et le Rhin.** — Calcul des estimations, préparation des adjudications : 100 millions ».

A l'Union des Patrons Plombiers et Couvreurs de Liège

L'Union des Patrons Plombiers et Couvreurs de la Province de Liège communique les deux avis suivants :

1. — Les membres sont invités à assister à l'Assemblée générale qui se tiendra le **lundi 30 octobre**, à 17 heures précises, au local de la Chambre Syndicale de la Construction du Pays de Liège, Galerie de la Sauvenière, 5, (1^{er} étage), à Liège.

2. — La remise des distinctions honorifiques aura lieu au cours du banquet annuel organisé le 11 novembre 1950, au « Pré Normand ».

Pour les conditions et inscriptions, s'adresser au Secrétaire, rue Louvrex, 19, à Liège. — Téléphone 23.74.61.

L'Association Belge des Femmes Chefs d'Entreprises

L'ASSOCIATION BELGE DES FEMMES CHEFS D'ENTREPRISES groupe toutes les INDUSTRIELLES et COMMERÇANTES belges dirigeant effectivement une entreprise, grande, moyenne ou petite (seule ou en collaboration avec leur mari, frère etc.).

Quelques buts :

Développer chez ses membres les sentiments de confraternité et d'appui moral.

Mettre en commun leurs connaissances générales de travail.

Rechercher les éléments susceptibles d'apporter à la situation commune des modifications avantageuses.

Collaborer avec les hommes dans les organismes professionnels.

Etudier et défendre les droits et intérêts des femmes chefs d'entreprises.

Entreprendre toute action auprès des dirigeants professionnels et des pouvoirs publics pour que l'accès des femmes soit assuré dans tous les organismes de la vie des affaires.

Faire campagne pour informer les femmes chefs d'entreprises des fonctions qui leur sont ou leur seront ouvertes.

Susciter et appuyer leurs candidatures dans les organismes officiels.

Préparer les femmes chefs d'entreprises à remplir dignement leur devoir de citoyenne en développant leur action civique, sociale et morale, étant entendu que l'action de l'Association belge des F. C. E. est indépendante de tout parti politique ou de toute opinion philosophique ou religieuse.

Pour toutes demandes ou adhésions :

CHAMBRE DE COMMERCE DE BRUXELLES,

112, rue de Trèves, à Bruxelles.

SECRETARIAT DE L'ASSOCIATION BELGE DES F.C.E.
rue de Flandre, 142, Bruxelles - Tél. : 17.96.32.

Chronique des Matériaux

Activité stationnaire.

Les statistiques des demandes d'emploi indiquent toujours l'existence d'une certaine tension sur le marché de la main-d'œuvre. En effet, au 11 octobre dernier, le nombre de demandeurs d'emploi (qualifiés et demi qualifiés) se chiffrent à 8.342 contre 8.569 le 13 septembre dernier.

Tenant compte de l'existence de 200.000 ouvriers de la construction, ces chiffres représentent à peine 4,2 % du nombre d'ouvriers inscrits dans ce secteur.

La diminution de ce nombre pour le mois d'octobre s'explique par la volonté des entrepreneurs de finir le plus possible les travaux en cours avant le 1^{er} novembre, période normale des premières gelées.

La statistique suivante, établie par métier donne l'évolution du nombre des demandeurs d'emploi au 13 septembre et au 11 octobre dernier.

Nature du métier	Au 13 sept. 1950		Au 11 oct. 1950	
	Qualifiés	1/2 qualifiés	Qualifiés	1/2 qualifiés
Terrassiers	—	1.164	—	1.058
Bétonneurs	—	180	—	159
Ferrailleurs	—	47	—	49
Voirie	—	81	—	57
Manœuvres spécialisés	—	2.680	—	2.409
Maçons	82	275	68	224
Couvreurs	106	17	101	7
Plafonneurs	67	196	62	119
Carreleurs	8	5	10	8
Peintres	1.463	503	1.719	570
Vitriers	91	23	84	18
Charpentiers	194	94	210	95
Coffreurs	102	38	94	47
Menusiers	435	328	419	301
Monteurs-soudeurs	22	21	20	19
Monteurs non-soudeurs	32	23	26	21
Monteurs-soudeurs	22	21	20	12
Plombiers-zingueurs	164	145	183	159
Totaux	2.788	5.781	3.016	5.326
		8.569		8.342