

Le Béton précontraint

(Principes et propriétés, expériences, premières réalisations)

par F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège.

Le béton possède une résistance importante et sûre à la compression, c'est un matériau apprécié pour les constructions comprimées. La résistance à la traction est faible et précaire; on n'en tient généralement pas compte par raison de sécurité.

Dans le béton armé, on pare à ce défaut de résistance à l'extension en disposant dans les régions soumises à l'extension des barres d'acier, disposées en principe suivant les trajectoires des résultantes des forces internes de traction. Ces barres ne sont pas en tension initiale. Elles semblent ainsi satisfaire à l'hypothèse fondamentale de la résistance des matériaux et n'entreraient en tension que sous l'effet des sollicitations externes ultérieures. Leur action serait donc toute passive.

En réalité, la situation est moins simple. Si l'acier a un volume invariable à température constante, il n'en est pas de même du béton qui, en durcissant, est sujet au phénomène du retrait croissant en fonction du temps; il diminue de volume par diminution de ses dimensions linéaires. Cette variation de volume du béton entraîne, en raison de l'invariabilité du volume de l'acier, des tensions de retrait, indépendantes en principe de la sollicitation externe et assimilables donc à des tensions initiales. Il en résulte que, d'une manière et dans une mesure propre à chaque cas, le béton est plus ou moins empêché de subir librement son retrait en raison de son adhérence à l'acier et devient donc le siège d'extensions et que, inversement, les barres d'armature sont comprimées. Ceci n'est pas désavantageux pour l'acier qui doit normalement être tendu par l'effet des sollicitations extérieures prévues, mais bien pour le béton. En effet, par suite de l'adhérence réciproque, le béton suit les allongements que subissent les armatures sous l'effet des forces d'extension qui les sollicitent et, comme la capacité d'allongement du béton est très limitée (quelques unités de dix-millièmes), dès que la tension de l'acier dépasse quelque 10 kg/mm², le béton se fissure. L'empêchement de retrait provenant de l'armature abaisse la limite de fissuration, à tel point que, dans des conditions appropriées, il suffit seul à produire des fissurations. C'est le principe d'une expérience, devenu un essai caractéristique dans certains pays et pour certains usages, qui consiste à enrober un cylindre assez épais d'acier d'une couche assez mince de

pâte de ciment ou de mortier. L'observation de la lissuration renseigne sur l'intensité du retrait et sur la déformabilité avant rupture par extension.

Le béton armé est donc fissurable. Il sort de mon sujet de disserter sur la manière dont les constructeurs sont parvenus à s'accommoder de cette caractéristique fâcheuse du béton armé. Qu'il me suffise de constater qu'ils y ont réussi et qu'ils ont fait du béton armé un procédé de construction qui s'est développé à ce point qu'il y a quelque vérité dans l'appellation de l'âge du béton. Le procédé est bien éprouvé et l'expérience l'a rendu sûr. Les accidents ont été rares et ne peuvent résulter que d'incompétence ou de maltaçon. Je ne cite que pour mémoire les éléments des ouvrages en béton armé dans lesquels les barres d'armature sont systématiquement comprimées sous l'effet des sollicitations externes et qui constituent des parties essentielles et proportionnellement très importantes de la construction en béton armé. Ils ne subissent aucune incidence du béton précontraint. Remarquons seulement que le retrait est, cette fois, favorable au béton et défavorable à l'armature. En rapport avec mon sujet, il est intéressant toutefois de mentionner le béton fretté, qui a d'ailleurs déçu les grands espoirs théoriques mis en lui. Il a pour objet d'augmenter la résistance à la compression du béton armé ou non, par l'action d'étreinte transversale de frettes en acier posées sans tension initiale. L'intervention de ces frettes est toute passive comme celle des armatures d'extension (les frettes sont mises en traction sous l'effet du gonflement transversal du béton résultant d'une compression axiale); elle est retardée et réduite en efficacité par une mise en compression initiale due au retrait du béton.

En somme, le béton armé est une association assez passive de deux matériaux ayant des qualités complémentaires de résistance, mais dans laquelle ces propriétés restent sensiblement inaltérées. La conséquence en est la fissurabilité du béton armé qui, bien que les constructeurs s'en accommodent, n'est pas en général un avantage ou un bien en soi. Le béton précontraint est essentiellement le béton sans fissures et il ne peut se substituer au béton armé que pour les éléments subissant au moins partiellement des extensions.

Cautiounnements, Avances sur Travaux

PRETS A LONGS TERMES

RENSEIGNEMENTS DE 10 A 12 HEURES A LA

Banque d'Escompte et de Travaux 13, Rue de Ligne, Bruxelles.

Tél. : 17.33.85

SOCIETE ANONYME FONDÉE EN 1892

(10.490)

Pour faire comprendre le principe du béton précontraint, il est favorable d'envisager le cas de la traction simple.

Considérons un prisme de béton de longueur l et de section w_b suivant l'axe duquel (à la faveur d'une cavité) nous tendons un tirant d'acier qui prend appui sur les 2 faces terminales du prisme par des plateaux métalliques rigides couvrant toutes ces faces (fig. 1). Appelons P l'effort de traction effectif du tirant par ailleurs libre. Le béton est soumis à une compression uniforme de précon-

trainte $p_b = \frac{P}{w_b}$. Si l'on applique dès lors à ce

prisme un effort extérieur axial de traction N , cet effort pourra atteindre sans danger de fissure la valeur

$$N_1 = w_b p_b = P.$$

Si, en outre, le béton a une résistance propre à la traction R_b , comme le béton est précomprimé, cette résistance est entière, de telle sorte que l'effort axial de traction peut en fait atteindre sans fissuration la valeur

$$N_2 = (p_b + R_b)w_b = P + w_b R_b$$

Ici il y a lieu de considérer une première objection. Sous réserve de la résistance propre à la traction du béton, qui est relativement faible et qui entraîne des dépenses, un encombrement et un supplément de poids assez élevés, la résistance sans fissuration du béton précontraint est, en principe, égale à la traction de pré-

contrainte. Le tirant métallique peut donc y suffire seul. C'est là l'expression du bon sens et elle nous rend attentif au fait qu'il n'y a pas lieu de recourir au béton précontraint pour le plaisir de précontraindre du béton. A moins qu'il n'y ait nécessité ou des avantages suffisants à envelopper les tirants de béton, il est évident qu'il est préférable d'utiliser les tirants seuls. De ce fait, beaucoup de constructions qualifiées de précontraintes ne sont en fait que des variétés de constructions à tirants. Il est parfaitement licite de laisser ces tirants nus lorsqu'il n'y a pas d'inconvénients importants à le faire. Mais il peut y avoir des avantages appréciables à envelopper les tirants de béton: par exemple pour assurer leur protection contre la corrosion, pour assurer la combinaison réciproque des forces internes dans certains cas de sollicitation et dans certains types de constructions composés ou complexes, etc.

Les formules élémentaires correspondant au processus simple envisagé ci-dessus sont cependant trop sommaires, parce qu'elles négligent le jeu des déformations réciproques. Nous ne considérons pas celles qui se sont produites pendant la précontrainte, sauf pour admettre qu'elles n'ont pas dépassé les limites de l'élasticité. Nous envisageons donc comme situation initiale du prisme de longueur l et de section w_b une précontrainte uniforme

$p_b = \frac{P}{w_b}$ et un effort de traction P dans le tirant.

Lorsque l'on applique à ce prisme dans cet état un effort de traction axial N , en admettant que toutes les déformations soient élastiques, la tension

du tirant va augmenter en raison de son allongement.

Par exemple, si

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

$$p_b = 100 \text{ kg/cm}^2$$

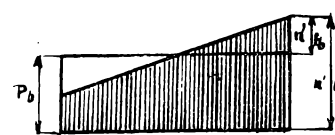
$$P = 40.000 \text{ kg}$$

$$w_a = 4 \text{ cm}^2$$

$$N = 40.000 \text{ kg (section du tirant),}$$

on trouve pratiquement que l'augmentation de tension du tirant est de l'ordre de 6 % environ.

Dans ce cas, en négligeant la résistance à l'extension du béton, la tension du béton sera annulée pour une charge $N = 42.400 \text{ kg}$. Si la résistance propre du béton à la traction est par exemple 50 kg/cm^2 , la charge de fissuration (ou de rupture du béton) sera 63.600 kg . Dans ce cas, lors de la rupture, la tension du tirant n'est guère supérieure que de 8,5 % à sa tension initiale. Pour des valeurs plus élevées, le béton n'intervient plus et le tirant supporte seul les effets, comme dans le béton armé ordinaire. Donc, la variation de tension du tirant est



faible lorsque celle du béton varie entre ses valeurs extrêmes de service, à condition que la section du tirant soit très faible par rapport à celle du béton, ce qui implique de l'acier à très haute résistance.

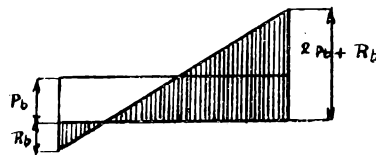


Fig. 2.

Si l'effort appliqué à la pièce après fissuration ne dépasse pas la limite d'élasticité du tirant, la suppression de cet effort produit la fermeture des fissures. Lors d'une nouvelle mise en charge, les fissures se rouvriront dès que la charge N atteindra la valeur déterminée sans tenir compte de la résistance à l'extension du béton. Il en résulte qu'il n'est pas indispensable que le prisme de béton soit continu, unique. Il peut être formé de tronçons, d'une superposition bien alignée de prismes de même section, percés suivant leur axe pour permettre le passage du tirant. Par l'action de la tension du tirant, cet empilage peut résister à un effort extérieur égal à la force de tension du tirant sans ouverture des joints entre les tronçons. Il est dès l'origine dans un état analogue à celui dans lequel se trouve le prisme continu après sa première fissuration.

La prisme continu ou divisé précontraint peut aussi résister à la flexion. Le schéma de répartition des tensions dans les limites de l'élasticité figure ci-contre (fig. 2).

La compression maximum du béton est

$$n'_b = p_b + n'_{fb}$$

En cas de prisme divisé ou fissuré, sa limite maximum est $n'_b = 2p_b$ correspondant à la fissuration à la face opposée. Dans le cas d'un prisme continu, la sollicitation de première fissuration correspond à $n'_b = 2p_b + R_b$

Cette compression maximum doit présenter une marge suffisante de sécurité par rapport à la tension

de rupture par écrasement d'un prisme en béton armé.

La précontrainte uniforme confère la propriété d'une égale résistance à la flexion dans les deux sens, nécessaire en cas de possibilité de changement de sens de flexion. Quant à la résistance au cisaillement, c'est-à-dire aux effets de l'effort tranchant, elle est assurée en cas de division ou de fissure par le frottement. Dans les parties non fissurées, la résistance propre au cisaillement du béton s'ajoute au frottement. La précontrainte uniforme s'accommode du changement de sens de l'effort tranchant.

La précontrainte uniforme confère donc à un prisme de béton les propriétés de résistance utile qui sont, dans certaines limites, analogues à celle d'une poutrelle métallique.

Il résulte de ce qui précède que la compression longitudinale n'est pas une sollicitation utile du béton uniformément précontraint, que c'est même la compression de flexion qui peut être son point faible. Il est permis de se demander si la compression longitudinale de précontrainte du prisme en béton ne crée pas pour ce dernier un danger d'instabilité par flambage. Il n'en est heureusement rien, à condition toutefois qu'entre le prisme de béton et le tirant de précontrainte existent des liaisons transversales en quantité suffisante pour produire des réactions transversales réciproques qui équilibrent la tendance à l'instabilité transversale du prisme de béton précontraint. Cette action stabilisatrice s'apparente à celle d'appuis intermédiaires multiples ou encore d'un milieu élastique. On peut donc être rassuré sur le danger de flambage, on connaît le moyen de l'éviter qui exclut le tirant nu, indépendant de toutes liaisons transversales avec le béton qu'il précontraint. (A suivre).

PROVINCE DE BRABANT

Affaires communales.

Le Conseil a examiné l'avant-projet d'ouverture du chemin de Maret à Lincet. Ce chemin aboutirait à la gare de Lincet. Les subsides prévus seront de 30 %. Aucune voie de communication praticable n'existant entre ces deux localités voisines, l'intérêt de ce projet est indéniable et paraît même primordial sur les projets d'amélioration des routes vers Jeandrain et Marilles.

PROVINCE DE LIMBOURG

Elargissement de voirie à Tongres.

On procède actuellement à l'élargissement de la rue Edmond Jaminé et à la construction de nouveaux trottoirs à la même rue.

Ces travaux, de grande nécessité, avaient déjà plusieurs fois fait l'objet de proposition à l'autorité supérieure. L'autorisation n'avait jamais été donnée. C'est pour cela, que l'autorité communale a pris la décision de faire entreprendre les travaux à ses frais.

Agrandissement de l'Hôpital Saint-Jean à Genck.

La promesse de subventions ayant été accordée, il sera possible de procéder aux travaux d'agrandissement de l'Hôpital Saint-Jean. Ces travaux consistent en la création d'une Maternité, d'une section pour maladies internes et d'un corridor de liaison.

La nouvelle Ecole technique.

En ce qui concerne l'Ecole technique, le Conseil provincial a accordé huit millions de francs de subsides. Le Conseil communal participera pour sa part à l'exécution des travaux à concurrence de cinq millions de francs.

PROVINCE DE LIEGE

Le Conseil Provincial

en visite d'inspection dans la région hutoise.

Continuant ses tournées d'information et de documentation le Conseil provincial de Liège s'est rendu dans la région hutoise afin d'examiner sur place le fonctionnement de certaines institutions provinciales.

Aux membres de la Députation Permanente et du Conseil provincial s'étaient joints M. Saubain, ingénieur en chef-directeur du Service technique provincial; M. Chappelle, architecte en chef-directeur du Service des Bâtiments; MM. A. Gathoye et A. Brabant, chefs de division au Gouvernement provincial, ainsi que quelques fonctionnaires.

La visite débuta à la carrière de Modave, ancienne carrière Hubin, exploitée depuis 1948 par l'Intercommunale de Voirie. Aujourd'hui, ce chantier est en pleine activité. De nouveaux bancs seront arrachés prochainement, ils permettront de produire des pierres de construction, bordures de chaussées, etc.

La délégation fut ensuite reçue à la maison communale de Ben-Ahin par M. Jadot, bourgmestre et président de l'Intercommunale de Voirie. Ce dernier, tout en souhaitant la bienvenue dans son fief, à la délégation provinciale, rappela que pendant treize ans le siège de l'Intercommunale de Voirie de Huy-Waremme, qui donna naissance à l'Intercommunale provinciale de Voirie, fut situé à Ben-Ahin.

A l'hôtel de ville de Huy les membres de la Députation permanente et du Conseil provincial furent reçus par M. Grégoire, bourgmestre et par le Collège échevinal.

Dans son allocution, M. Grégoire mit en relief les diverses réalisations provinciales particulièrement dans le domaine de l'enseignement technique si utile à l'économie générale du pays.

Au cours d'un déjeuner servi dans un des vastes locaux de l'Ecole Technique de Huy, et auquel assistaient outre les personnalités déjà citées, MM. Leclercq, gouverneur de la Province, Derèze, greffier provincial, Diricks, directeur de l'Ecole, M. D'Heur-Hellin, député permanent, félicita le personnel de l'établissement pour les brillants résultats obtenus dans la formation de nombreuses générations de travailleurs. Il rappela le souvenir de MM. G. Grégoire et H. Debarsy, précurseurs de l'enseignement technique dans la province de Liège. L'Ecole Technique de Huy est un grand établissement professionnel qui a suivi les derniers perfectionnements de la technique.

L'orateur rendit encore hommage à MM. Legros et Chappelle, architectes provinciaux et à tout le Service des Bâtiments pour le soin mis à l'exécution et aux transformations de l'Ecole Technique de Huy, ainsi qu'à M. Diricks, qui veille journellement au développement de l'établissement lui confié.

Les industriels, ajoute M. D'Heur-Hellin, ont confiance en l'enseignement technique provincial. Ils lui apportent leur concours, aussi tient-il à les remercier pour ces marques de sympathie et d'encouragement.

La journée se poursuivit par la visite des installations scolaires, des divers ateliers pour se terminer à l'inauguration du Hôme pour enfants de bateliers établi dans le château donné par M. Fernand Petit, à La Neuville-sous-Huy.

Disons, en matière de conclusion, la satisfaction que l'on éprouve à visiter les Ecoles Techniques Provinciales. On en emporte d'excellents souvenirs. Les fonds dépensés pour l'enseignement constituent toujours un placement à gros intérêt ceci est plus vrai encore pour l'enseignement technique, les techniciens manquant en grand nombre dans nos industries.

Ces écoles sont de nature à relever l'économie nationale et à nous permettre de concurrencer sur les marchés extérieurs.

En développant l'enseignement technique et professionnel la Province de Liège ne fait qu'aider au développement de l'industrie wallonne comme de l'industrie du pays tout entier. C'est tout à son honneur.

Le programme de la Foire Internationale de Liège en 1951.

La Foire Internationale de Liège, Mines, Métallurgie, Mécanique, Electricité industrielle comportait, tant en 1949 qu'en 1950, la présentation de matériel, de machines et de produits intéressant en général toutes les industries des fabrications métalliques et de celles qui concourent à leur approvisionnement. Elles étaient réparties en vingt groupes industriels.

Le programme pour la foire de 1951 reste identique.