Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 75 (1949)
Heft: 7

Artikel: Les applications du béton précontraint en Belgique
Autor: Magnel, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-56861

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

75e année 26 mars 1949 N° 7

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 20 francs
Etranger : 25 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 17 francs
Etranger : 22 francs
Pour les abonnements s'adresser à la librairie
F. ROUGE & Cie
à Lausanne
Prix du numéro :
1 Fr. 25

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. † L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud :* MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. D'OKOLSKI, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève :* MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. BÉGUIN, architecte ; G. FURTER, ingénieur ; R. GUYE, ingénieur ; *Valais :* MM. J. DUBUIS, ingénieur ; D. BURGENER, architecte.

Rédaction : D. BONNARD, ingénieur. Case postale Chauderon 475, LAUSANNE

TARIF DES ANNONCES
Le millimètre
larg. 47 mm.) 20 cts.
Réclames : 60 cts. le mm.
(largeur 95 mm.)
Rabais pour annonces répétées
ANNONCES SUISSES S.A.
5, Rue Centrale
Tél. 2 33 26
LAUSANNE
et Succursales

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Les applications du béton précontraint, en Belgique*, par G. MAGNEL, professeur à l'Université de Gand. — DIVERS : *Une installation émettrice-réceptrice expérimentale de phototélégraphie rapide.* — Société suisse des ingénieurs et des architectes : *Extrait des procès-verbaux du Comité central des 3 décembre 1948 et 21 janvier 1949.* — LES CONGRÈS : *4e Congrès d'Urbanisme à Lucerne, les 21 et 22 mai 1949.* — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT. — NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES.

Les applications du béton précontraint en Belgique

par G. MAGNEL, Professeur à l'Université de Gand
Membre de l'Académie Royale de Belgique

Peu de problèmes techniques éveillent en ce moment autant l'attention des ingénieurs du Génie civil que celui du béton précontraint. L'idée de la précontrainte est aussi vieille que celle du béton armé, mais les ingénieurs ne sont arrivés à des résultats pratiques dans ce domaine que depuis que M. Freyssinet a montré qu'il n'y a pas de précontrainte permanente sans l'emploi d'aciers à très haute limite élastique, tendus à des tensions de l'ordre de 70 à 90 kg/mm². La raison en est que les pertes de précontrainte dues au fluage du béton et de l'acier et celles dues au retrait du béton font perdre une partie de l'effort initial, ce qui a d'autant plus d'importance relative que la tension de l'acier est plus basse.

C'est donc à M. Freyssinet que revient l'honneur d'avoir pu faire les premiers travaux pratiques en béton précontraint ; il a d'ailleurs imaginé pour cela un outillage qui est d'usage général en France.

En Belgique, nous appliquons les idées de principe de M. Freyssinet, mais nous utilisons un outillage tout différent créé au cours de l'occupation de notre pays. Nous nous servons de ce qu'on appelle maintenant assez généralement le « câble sandwich », dont voici une courte description (fig. 1 et 2).

Les fils, de 5 ou 7 mm, sont classés dans le câble par couches de quatre et sont tenus à distance de 5 mm des voisins, grâce à des séparateurs. Aux extrémités, le câble est saisi dans des ancrages métalliques : deux couches de quatre fils chacune sont fixées à une « plaque sandwich » avec quatre clavettes fixant chacune deux fils dans des rainures en forme de trapèze prévues à cet effet, à raison de deux par face principale de la plaque.

La précontrainte se fait par un petit appareil fort léger tirant sur deux fils à la fois ; dès que deux fils sont tendus, on les fixe à l'aide de la clavette correspondante.

On utilise à chaque extrémité du câble autant de plaques sandwich superposées qu'il y a de fois huit fils dans le câble. Ces plaques sont tirées par les fils contre le béton de la poutre, mais entre elles et le béton on interpose une plaque de répartition destinée à régler la pression locale sur le béton.

Plaques sandwich, clavettes et plaques de répartition sont faites en grande série, et cela aussi bien pour des fils

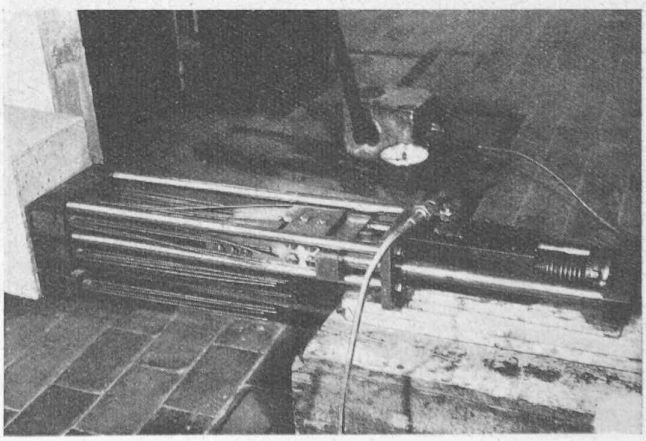

Fig. 2. — Appareil de mise en précontrainte.

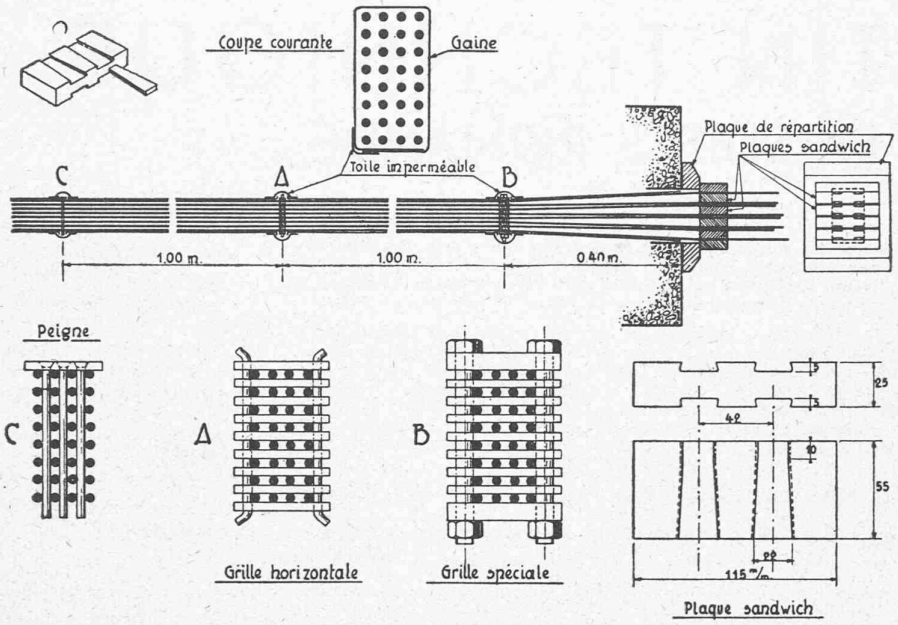

Fig. 1. — Détail d'un câble sandwich.

de 5 mm que pour les fils de 7 mm. L'emploi de fils de 7 mm est très économique pour les grandes poutres, car d'une part cela réduit la place occupée par les câbles et d'autre part la mise en tension d'un fil de 7 mm et sa fixation ne coûtent pas beaucoup plus que pour un fil de 5 mm.

Pour éviter que le béton ne s'introduise dans le câble, il y a deux procédés : ou bien on entoure le câble d'une gaine étanche en tôle mince et on bétonne autour de la gaine ; ou bien on laisse un trou dans le béton et on enfile le câble après durcissement.

Dans les deux cas, pour protéger le câble contre la rouille et établir une adhérence entre les fils et le béton, nous injectons de la pâte de ciment ou de mortier sous pression dans les vides autour des fils.

Il n'entre pas dans notre intention de comparer ici l'outillage de M. Freyssinet avec celui que nous venons de décrire. Rien n'est définitif en béton précontraint, car cette technique est trop jeune. Disons simplement que le câble sandwich a été soumis d'abord minutieusement à des essais de laboratoire, puis à des essais de chantier et qu'il présente toute sécurité. C'est grâce à lui que les entrepreneurs belges ont pu réaliser bon nombre d'ouvrages en béton précontraint, dont certains de très grande importance.

Ce sont ces travaux que nous nous proposons de décrire brièvement dans le présent mémoire, en les classant non pas chronologiquement, mais par types de construction.

Ponts et passerelles

A. *Pont de chemin de fer*

La Belgique est le premier pays où on a construit un pont de chemin de fer en béton précontraint. Il s'agissait d'un pont biais à six voies parallèles ; on nous a autorisés à le construire sous forme de six dalles indépendantes, chacune pour une voie ; les dalles ont 20 m de portée. Certaines de ces dalles ont été faites en béton armé ordinaire, en admettant une tension de sécurité de 70 kg/cm² pour le béton ; d'autres ont été faites en béton précontraint avec 150 kg/cm² (fig. 3 et 4).

Voici un tableau qui donne la comparaison entre ces deux genres de dalles :

		Béton armé ordinaire	*Béton précontraint*
Epaisseur	m	1,85	1,15
Cube de béton	m³	145	85
Acier doux	t	26	0,7
Acier en fil	t	—	5,5
Acier pour ancrages	t	—	2,6
Coût	fr.	232 000	197 000

Il suffit de consulter ce tableau pour se rendre compte des immenses avantages du béton précontraint, qui, d'autre part, présente une sécurité plus grande, surtout à la fissuration, que le béton armé ordinaire. La grande réduction d'épaisseur (0,70 m sur 1,85 m) est également à noter comme étant très importante dans de multiples cas de la pratique courante.

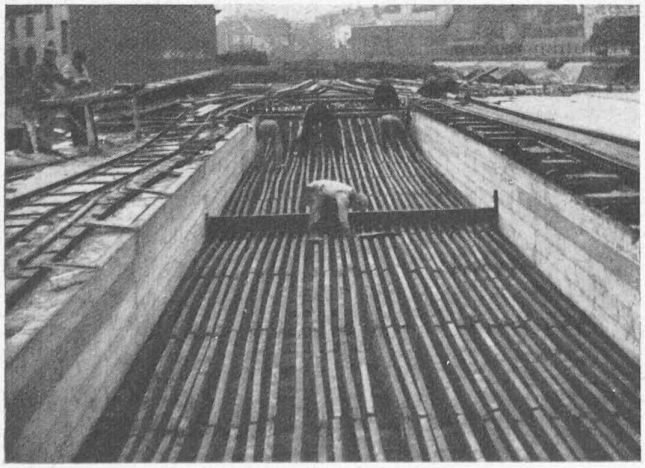

Fig. 3. — Pont de la rue du Miroir. — Réglage des câbles.

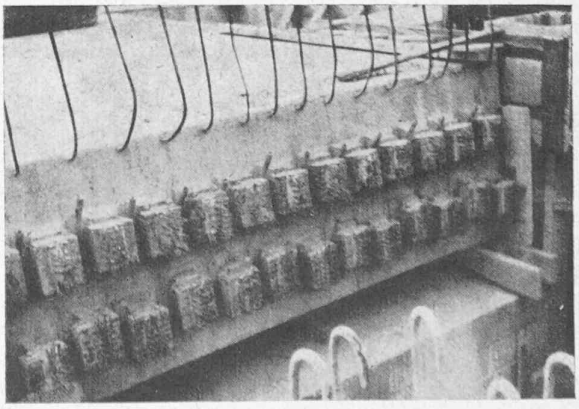

Fig. 4. — Pont de la rue du Miroir après mise en précontrainte.

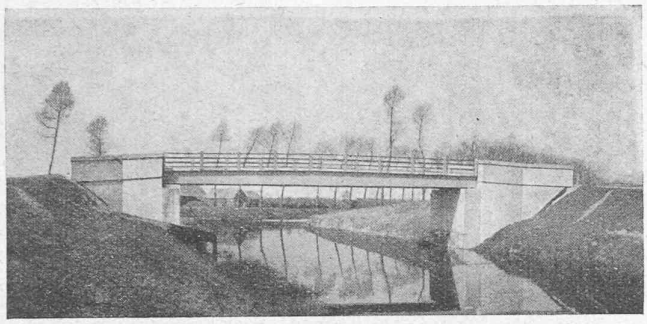

Fig. 6. — Pont d'Eecloo.

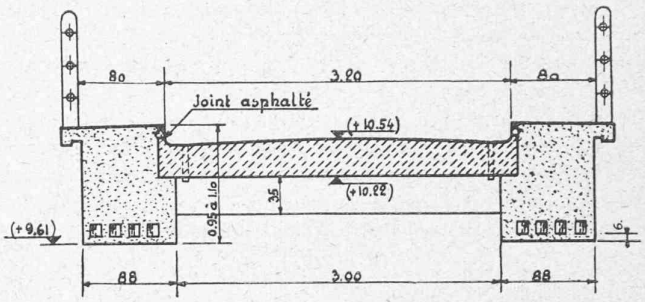

Fig. 5. — Pont d'Eecloo. — Coupe transversale.

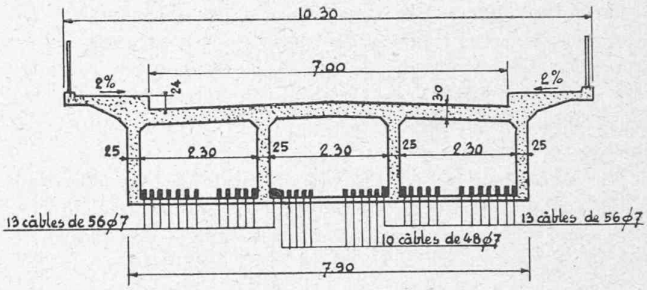

Fig. 8. — Pont de Sclayn. — Coupe.

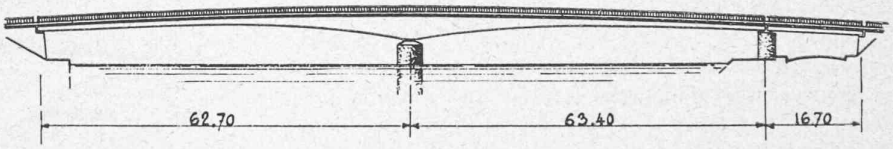

Fig. 7. — Pont de Sclayn. — Elévation générale.

Avant de construire ces tabliers en précontraint, on en a construit une tranche de 0,65 m de largeur, dans le but de l'essayer jusqu'à rupture. D'autre part, une série d'essais accessoires ont été faits sur le béton et l'acier mis en œuvre (essais de fluage, de retrait, de résistance, mesure des modules d'élasticité etc.). Notre collègue M. Bæs, professeur à l'Université de Bruxelles, publiera un de ces jours un compte rendu détaillé de ces essais. Les conclusions générales qui s'en dégagent sont les suivantes :

1° On est absolument maître du calcul d'ouvrages de ce genre ;

2° Les déformations mesurées sont beaucoup mieux en concordance avec celles résultant du calcul, que dans les ouvrages en béton armé ordinaire ;

3° La précontrainte se fait très facilement et avec une grande précision ;

4° La sécurité vis-à-vis de la fissuration du béton est de l'ordre du double de ce qu'elle est en béton armé ordinaire ;

5° La sécurité vis-à-vis des charges de rupture (la poutre d'essai de 20 m s'est rompue par écrasement du béton et non par dépassement de la résistance des fils) est très élevée ; la charge à appliquer à la dalle pour provoquer la rupture est de l'ordre de quatre fois la charge de service.

B. *Pont-route de Zammel*

C'est un petit pont de 13 m. de portée pour 12 m. de largeur. Il a été précontraint dans le sens transversal aussi bien que dans le sens longitudinal.

Le béton y travaille à 123 kg/cm², et les fils ont été précontraints à 85 kg/mm².

Les quantités de matériaux utilisés sont les suivantes, comparées à celles qu'il aurait fallu en béton armé ordinaire :

		Béton armé ordinaire	*Béton précontraint*
Béton	m³	112,5	92,5
Acier doux	t	18,6	—
Aciers en fil	t	—	5,6
Acier pour ancrages et accessoires	t	—	3,4

C. *Pont-route d'Eecloo*

C'est un pont de 20 m de portée pour une largeur totale de 4,80 m. Il est constitué en ordre principal de deux poutres maîtresses de 1,10 m de hauteur au milieu, pour 88 cm de largeur. Dans chaque poutre, il y a huit câbles de 40 fils de 5 mm. Le béton travaille à 141 kg/cm² (fig. 5 et 6).

D. *Passerelles diverses*

Plusieurs passerelles pour piétons ont été construites en béton précontraint avec des poutres de 20 à 45 m de portée. Les tensions admises dans le béton sont le plus souvent de 120 kg/cm² ; les aciers sont tendus à 85 kg/mm².

E. *Pont-route de Sclayn*

Ce pont, qui a deux travées de 62,50 m de portée chacune, sera le premier pont continu en béton précontraint. L'adjudication a eu lieu et les travaux vont commencer incessamment. Ce sera le plus important pont du monde en béton précontraint (fig. 7 et 8).

Planchers et terrasses

A. *Petits ouvrages*

On a construit en Belgique une série de bâtiments d'importance secondaire, comportant des poutraisons en béton précontraint pour planchers et terrasses. On a employé généralement des poutres en double T non symétriques, précontraintes soit par des câbles situés de part et d'autre de l'âme, soit dans des trous longitudinaux laissés dans l'âme.

Quand il s'agit de terrasses, on profite le plus souvent des pentes qu'on doit donner aux toitures pour faire des poutres non entièrement rectilignes, ce qui permet de prévoir des câbles droits, ne donnant donc aucun frottement lors de la mise en précontrainte.

Les poutres sont en général fabriquées à terre et puis mises en place à l'aide de grues ou de mâts de montage. Les portées réalisées dans ces petits ouvrages sont de l'ordre de 10 à 12 m.

Sur les poutres en béton précontraint, on dépose alors des éléments légers en dalles préfabriquées, tant comme couverture extérieure que comme faux plafond. Dans l'espace d'air compris entre ces deux couches dures, on met de la laine de verre, ou tout autre isolant adéquat.

B. *Usine textile à six étages*

On a construit à Bruxelles un bâtiment à six étages. Chaque hourdis comporte des poutres principales de 12,33 m de portée, réalisées en poutres continues en béton armé ordinaire ; ces poutres sont espacées de 12,75 m ; elles sont munies latéralement de consoles tous les deux mètres, sur lesquelles on vient placer des poutres précontraintes fabriquées à terre. Au-dessus de ces dernières poutres, on place des dalles préfabriquées agencées de façon à ce qu'elles travaillent solidairement avec les poutres précontraintes sous l'action des surcharges.

Au moment de la mise en précontrainte, le béton travaille à 140 kg/cm² aux fibres inférieures. Sous surcharge complète, la tension de compression du béton ne dépasse pas 44 kg/cm² (fig. 9).

C. *Usine textile à Gand couvrant 35 000 m²*

Le plus grand travail de bâtiment exécuté dans le monde entier, en béton précontraint, est en ce moment en exécution à Gand.

Il s'agit d'une usine textile sans étage couvrant 35 000 m². La poutraison de l'immense terrasse est en béton précontraint, les éléments étant fabriqués à terre, puis montés. Les colonnes sur pieux forment un réseau à mailles de 21,60 m sur 14,40 m.

Les poutres principales, de 20,80 m de portée, sont précontraintes et s'appuient sur des consoles bétonnées en même temps que les colonnes ; elles ont une hauteur au milieu de 1,75 m (fig. 10).

De part et d'autre de leur âme de 20 cm d'épaisseur, elles portent des consoles sur lesquelles viennent reposer les poutres secondaires de 13,70 m de portée théorique ; celles-ci sont également précontraintes et ont une hauteur de 1 m avec une âme de seulement 10 cm d'épaisseur ; elles sont distantes d'axe en axe de 3,60 m (fig. 11).

Ces poutres secondaires portent tous les mètres environ des poutres tertiaires de 3,60 m de largeur, faites en grande série en béton armé ordinaire ; elles sont en forme de double T, ce qui permet d'y poser des dalles préfabriquées comme couverture extérieure et d'autres dalles préfabriquées comme faux plafond ; entre ces deux dalles l'espace est rempli par une matière formant isolant thermique.

C'est une structure fort élégante et économique exécutée sans avoir recours à aucun bois de coffrage. Les poutres faites dans des moules métalliques sont particulièrement soignées ; cela est économique, étant donné que le nombre de poutres principales à construire est de l'ordre de cent et le nombre de poutres secondaires de l'ordre de six cents. Les poutres tertiaires auraient pu être faites en béton Hoyer, basé sur l'adhérence, mais nous n'avons pas en ce moment

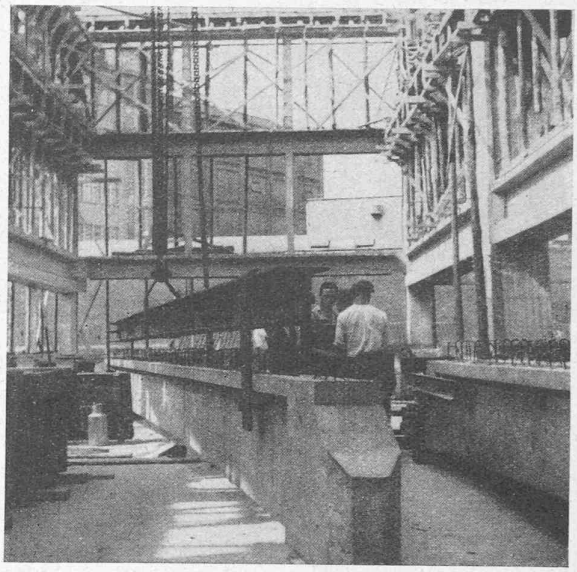

Fig. 9. — Usine Socatex. — Manipulation d'une poutre.

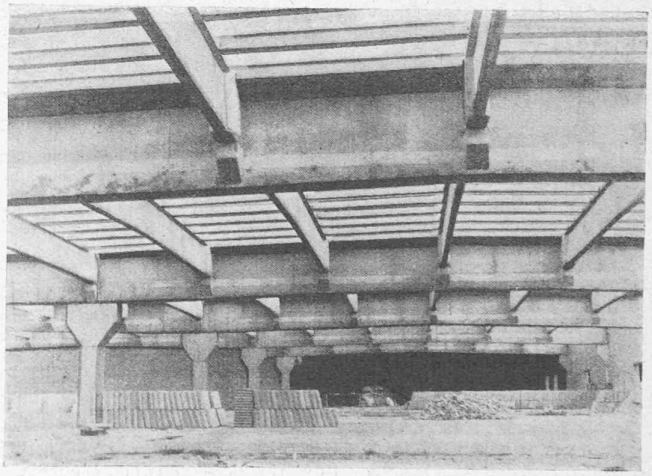

Fig. 10. — Usine textile à Gand.
Vue générale avant pose des dalles préfabriquées.

Fig. 11. — Usine textile à Gand.
Vue générale du chantier de fabrication des poutres principales et secondaires. Chevalet de montage pour les poutres principales.

en Belgique de fabrique qui soit équipée pour ce genre de fabrication en série.

Les tensions de compression dans les poutres sont les suivantes :

a) Pour les poutres principales :
127 kg/cm² au moment de la précontrainte ;
110 kg/cm² à la longue sous surcharge complète.

b) Pour les poutres secondaires :
90 kg/cm² au moment de la précontrainte ;
78 kg/cm² à la longue sous charge complète.

Lors de la mise en précontrainte, les aciers sont tendus à 100 kg/mm².

Les poutres principales sont bétonnées à côté des colonnes sur lesquelles elles doivent prendre appui ; chaque poutre pèse environ 40 tonnes ; elles sont montées grâce à deux châssis métalliques de montage, portant un palan de 20 tonnes ; ce palan, une fois la poutre montée, peut rouler transversalement par rapport à la poutre, de façon à l'amener exactement au-dessus de sa position définitive.

Les poutres secondaires sont déplacées à l'aide d'une grue sur chenilles.

Les poutres sont toutes à câbles rectilignes, ce qui a l'avantage de permettre de laisser dans le béton des trous pour le passage des câbles grâce à un mandrin métallique, placé dans le coffrage et retiré à l'aide d'un cabestan une heure après le bétonnage.

Bâtiments industriels

A. *Silos à ciment*

Il a été construit à Tournai quatre cellules pouvant renfermer chacune 1000 tonnes de ciment (fig. 12).

Les fûts sont en béton précontraint ; leur diamètre extérieur est de 8 m et leur hauteur 16,72 m.

Les parois sont composées de claveaux préfabriqués ayant 12 cm d'épaisseur, 45 cm de hauteur et 50 cm de longueur. Ces claveaux sont superposés pour former des anneaux avec interposition de mortier dans les joints.

Des rainures prévues dans les claveaux sur leur face extérieure permettent le placement de fils de 5 mm ; ces cerces en fil sont précontraintes par un appareil spécial fort simple.

La condition qu'on s'est imposée est de créer une compression suffisante dans les anneaux afin que, le silo étant chargé, il reste une compression d'au moins 4 kg/cm² dans le béton.

Les fils ont été maintenus pendant deux minutes à la tension de 105 kg/mm², puis relâchés et fixés à 92 kg/mm².

Le frottement des fils contre le béton fait évidemment perdre ici une bonne partie de la précontrainte ; pour diminuer cette perte le plus possible, on a décalé les joints entre deux cerces successives de 90°.

B. *Hangars pour avions avec poutres de 50 m de portée*

Ce sont les plus grandes portées réalisées jusqu'ici dans le bâtiment avec le béton précontraint.

Il s'agissait de construire quatre hangars comportant chacun quatre poutres de 50 m de portée, distantes d'axe en axe de 10 m.

Les poutres sont en forme de caisson avec parois latérales de 16 cm d'épaisseur ; elles ont en leur milieu une hauteur totale de 2,50 m, soit un vingtième de la portée. Chaque poutre pèse environ 270 tonnes.

Les quantités de matériaux sont, par poutre : 112 m³ de béton ; 6,6 t de câbles ; 6,0 t d'acier doux.

Les câbles sont rectilignes grâce au fait que les poutres ont la forme d'un V très ouvert et renversé ; cela donne

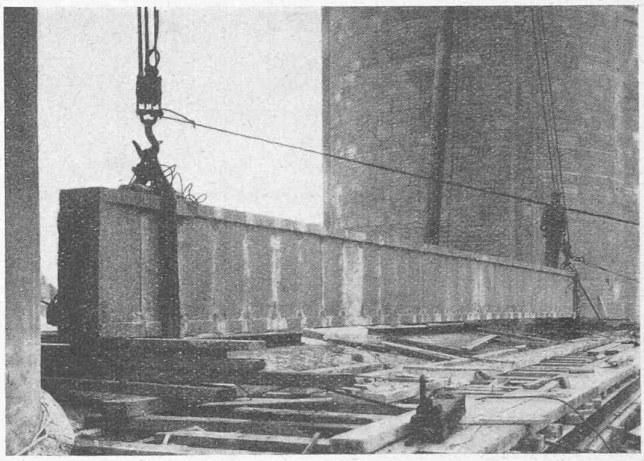

Fig. 12. — Silos en béton précontraint à Tournai.
A l'avant-plan poutre en béton précontraint à éléments creux préfabriqués.

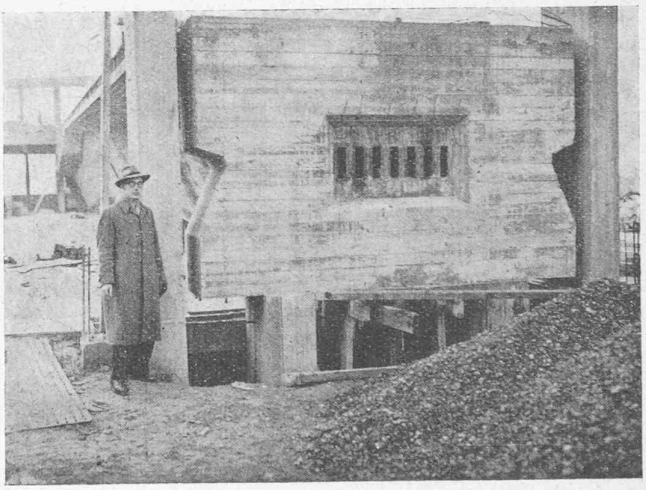

Fig. 13. — Hangars de Melsbroeck.
Une poutre de 51 m de portée prête à être montée.

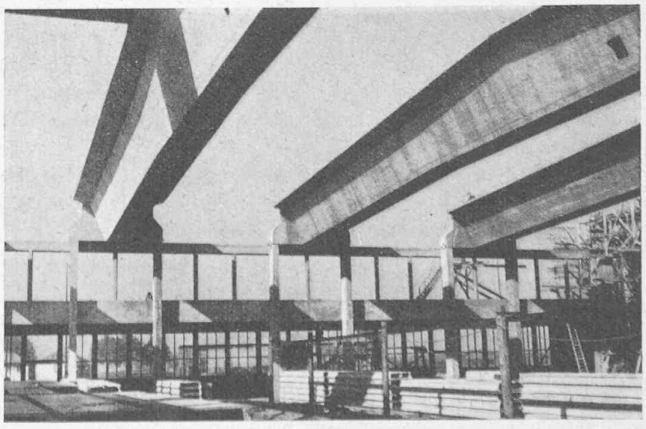

Fig. 14. — Hangars de Melsbroeck.
Trois poutres de 51 m déjà en place.

automatiquement les pentes pour l'écoulement des eaux. Dans chaque poutre il y a sept câbles comportant en tout 424 fils de 7 mm.

C'est le premier ouvrage en précontraint où l'on se sert de fils de 7 mm ; la Belgique est, pensons-nous, le seul pays fabriquant de tels fils en ce moment.

Les poutres sont bétonnées et précontraintes à terre, exactement en dessous de leur emplacement final, c'est-à-dire entre les quatre colonnes (deux à chaque extrémité), sur lesquelles elles doivent finalement prendre appui par un dispositif spécial qui est monté une fois que la poutre est à sa hauteur définitive. La levée de la poutre se fait avec des vérins par reprises successives.

Le béton mis en œuvre donne, à vingt-huit jours, une résistance sur cubes de 20 cm de côté de l'ordre de 470 kg/cm². Le projet est fait en prenant comme tensions de sécurité 140 kg/cm² pour le béton et 85 kg/mm² pour les fils.

Ce travail a été obtenu en adjudication publique en concurrence contre le béton armé ordinaire et la charpente métallique.

La solution, outre qu'elle est économique, est aussi élégante en ce que les hangars s'élèvent le moins haut possible, ce qui est de toute première importance sur un grand champ d'aviation (fig. 13 et 14).

C. *Ouvrages divers*

Nous ne pouvons que signaler ici la construction d'une tour d'extinction ; d'un château d'eau, etc.

Applications diverses

A. *Reprise en sous-œuvre*

L'emploi du béton précontraint est particulièrement précieux dans les travaux de reprise en sous-œuvre.

Supposons qu'on doive démolir la partie inférieure d'un mur, dont la partie conservée est en mauvais état, et ceci dans le but par exemple de réunir en une seule, deux salles séparées par le mur à démolir.

On n'a qu'à pratiquer dans le mur un premier trou de dimensions assez réduites pour ne pas compromettre la stabilité ; dès que cela est fait, on remplace la maçonnerie enlevée par du béton, dans lequel on laisse des tubes horizontaux en tôle mince ; puis on pratique un autre trou de dimensions réduites, on le remplit aussi de béton dans lequel on met des tubes se plaçant en ligne avec ceux du premier bloc. Si on procède ainsi de proche en proche, on finit par obtenir un prisme en béton remplaçant un certain volume de maçonnerie. Ce prisme n'est pas armé, mais simplement muni de tubes longitudinaux. On enfilera alors des câbles en fils de 5 mm dans ces tubes et on fera la précontrainte de l'ensemble.

Dès ce moment, on a une poutre en béton précontraint et plus rien ne s'oppose à ce qu'on démolisse carrément la maçonnerie en dessous de cette poutre ; on doit évidemment lui laisser des appuis suffisants.

La plus belle application de ce système a été faite au relèvement des tours du pont des Trous, à Tournai.

Il s'agit, pour une des tours médiévales, de la relever de 2,40 m ; la partie à soulever pèse 2800 tonnes (fig. 15 et 16).

On y a construit vers le bas deux grilles en béton précontraint ; chaque grille est composée de deux séries à angle droit de poutres parallèles. Les deux grilles sont distantes de 20 cm.

Dans la grille supérieure se trouvent emprisonnés vingt-six vérins de 150 tonnes chacun, dont les pistons sortent vers le bas et reposent, par l'intermédiaire d'une plaque de répartition articulée, sur le béton de la grille inférieure.

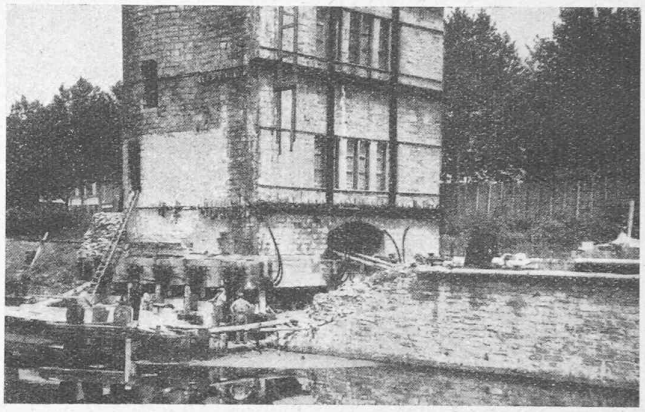

Fig. 15. — Relèvement du pont des Trous, à Tournai. Vue générale montrant le plateau en béton précontraint supportant la tour et posé sur appuis provisoires.

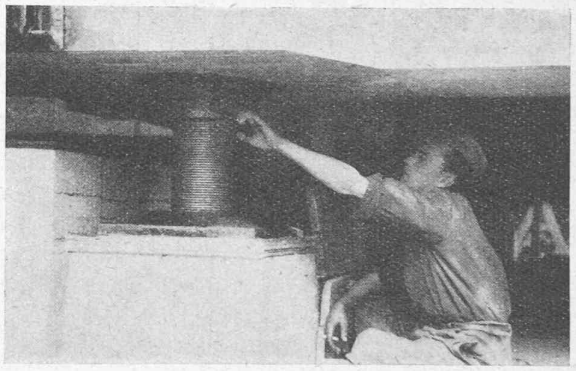

Fig. 16. — Relèvement du pont des Trous, à Tournai. Vue d'un des vérins.

Une salle des machines est installée dans la tour ; elle comprend deux pompes à moteur et toute la canalisation d'huile avec ses robinets et manomètres ; on peut ainsi isoler chaque vérin et également agir par un robinet unique sur les groupes de vérins.

Le soulèvement se fait par 20 cm à la fois ; après chaque opération on fait reposer la tour sur des empilements de dalles en béton ; cela permet de relever les pistons des vérins, en dessous desquels on place également les empilements de dalles en béton ; l'opération suivante peut ainsi recommencer.

Sans l'emploi de béton précontraint, ce travail n'aurait été que difficilement réalisable.

B. *Divers*

Nous ne faisons que signaler des pilots en béton précontraint, des tuyaux précontraints et des traverses de chemin de fer.

Conclusions

Le rapide coup d'œil que nous venons de jeter sur les applications du béton précontraint en Belgique, montre qu'elles sont à la fois diverses et importantes. Les entrepreneurs belges ont compris toutes les ressources de cette nouvelle technique, qui a certainement un bel avenir. Notre réussite vient du fait que nous utilisons un câble, des ancrages et un outillage de précontrainte, présentant toute sécurité, standardisé et facile à placer et à manier.