Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 102 (1976)

Heft: 23

Artikel: Eléments préfabriqués en béton armé ou précontraint pour des travaux de génie civil

Autor: Wiesel, Tibere

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72961

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: 15.07.2025

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

Eléments préfabriqués en béton armé ou précontraint pour des travaux de génie civil

par TIBERE WIESEL, Tolochenaz

1. Remarques préliminaires

En génie civil, la rationalisation par l'emploi d'éléments préfabriqués n'en est qu'à ses débuts. Cette constatation, ainsi que les quelques réflexions et remarques similaires qui suivront, se justifient par un opportunisme à plusieurs facettes à savoir :

— *La diminution de l'activité dans le bâtiment entre 1973 et 1976.* La reprise nettement tardive — probablement 1979/1980 —, l'aggravation relative d'une concurrence déjà très vive, l'endettement bancaire constant entraînant des frais financiers toujours plus lourds : tout cela place les entreprises de préfabrication dans une situation de grande fragilité.

— Beaucoup de professionnels du bâtiment et du génie civil mettent en cause, en premier lieu, le marché actuel de la construction, qui oblige les entreprises à faire de perpétuels paris sur l'avenir, en ce qui concerne à la fois le niveau de leur activité et celui du prix des marchés.

— Qu'il s'agisse, dans une hypothèse moins favorable, d'un redimensionnement rigoureux de la capacité de production ou d'un élargissement du marché, l'industrie de préfabrication est nécessairement conduite à résoudre ces problèmes.

— Le secteur des travaux publics et implicitement les travaux de génie civil ont été moins touchés par la récession ; ils présentent, donc, un intérêt certain pour les préfabricants en quête de nouveaux marchés.

— D'autre part, dans le dérèglement général actuel, les entreprises suisses de génie civil sont dans l'obligation de tenir compte du développement rapide de la technologie d'exécution et d'un relèvement progressif des charges salariales d'ici à 1980.

— A une époque où la productivité est devenue le critère véritable pour le génie civil, il n'y a pas d'autre issue que celle de la rationalisation progressive.

— Pour pouvoir résister à une telle course d'obstacles, toute entreprise devrait être dotée d'un système perfectionné de calcul et contrôle permanents de ses prix de revient.

— Dans la conjoncture actuelle, qui risque de durer, aucune amélioration sensible de la situation d'ensemble des entreprises n'est possible sans des efforts conjugués, soit :

  — Un effort de rigueur dans la gestion faisant appel à une discipline des maîtres de l'ouvrage, publics ou privés, qui, dans le dérèglement général actuel, cherchent à tirer le meilleur parti d'une situation de concurrence « ponctuelle », sans tendre à des *gains de productivité* à moyen et long termes.

  — Un effort de rationalisation progressive, qui signifie : études pluridisciplinaires, formation d'équipes ou de groupement et collaboration dans un « esprit industriel ». De plus, cela implique que le projet renouvelable (plus tard type) doit remplacer le projet individuel (en totalité ou en partie), que l'exécution industrielle (innovation technologique, rationalisation et mécanisation du chantier) doit remplacer l'artisanat et que la production de masse (en partie la préfabrication) doit remplacer l'exécution individuelle.

En effet, un apport significatif des préfabricants au secteur du génie civil ne pourrait se réaliser durablement s'il devait se heurter à l'inadaptation des moyens de production et à des déséquilibres entre le prix des marchés et le prix de revient.

Lors du dernier congrès *Europrefab* en avril 1975 à Paris, nous avons essayé d'interpréter un certain nombre d'indicateurs économiques concernant l'industrie de la construction en général et plus spécialement l'industrie de la préfabrication. [1] [1] A cette époque, nous avons été surpris par la vitesse du changement. Aujourd'hui, nous constatons que les phénomènes se sont accentués ; la récession a atteint un tel degré qu'en dehors d'un redimensionnement de l'industrie de la construction, et implicitement de l'industrie de la préfabrication, il faut absolument rechercher des changements dans les structures.

Il est compréhensible qu'une conversion qui va aussi loin suscite de fortes inquiétudes et fait craindre chez les professionnels de la construction que ces changements soient générateurs d'inévitables secousses, fatales probablement à nombre d'entreprises. Faut-il s'en réjouir, voire la favoriser ? Cela n'est pas une question d'idéologie, mais bien un problème économique.

2. Assortiment d'éléments préfabriqués

Les arguments énumérés ci-dessus, ainsi que d'autres considérations techniques et économiques, doivent inciter les ingénieurs civils, et par voie de conséquence les entrepreneurs, à l'utilisation accrue des éléments préfabriqués dans les travaux de génie civil.

Sur la base de diverses réalisations en Suisse et à l'étranger, on peut esquisser une liste de travaux de génie civil — en excluant les ponts et les constructions industrielles — qui se prêtent dans certaines conditions à la préfabrication.

Si l'on considère à chaque fois les éléments préfabriqués employés, il se dégage un premier assortiment de produits en béton préfabriqués pour le génie civil.

Mais en fait, ces lignes n'ont pas la prétention d'épuiser un tel sujet, vaste et complexe, d'autant plus que les questions d'économie et d'exploitation ne sont évoquées que pour mieux expliquer certaines dispositions constructives.

2.1 *Le tunnel* peut se définir comme un ouvrage souterrain destiné à livrer passage à une voie de communication au travers de certains obstacles naturels ou de constructions existantes. On distinguera [2, 3] les suivants :

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

— Tunnel ferroviaire.
— Tunnel routier.
— Tunnel pour trafic urbain.
— Tunnel de métro.

Il ne s'agit pas ici d'une classification proprement dite' mais d'une simple énumération des types de tunnels selon leur destination.

Lors de l'étude d'un tunnel et après diverses études préliminaires, il faut choisir la technologie d'exécution ainsi que les profils types, en tenant compte des critères de qualité de la roche (Norme SIA 198 et recommandation SIA 199). Il est évident qu'un tunnel qui traverse divers types de roches comportera autant de tronçons et de profils types correspondants.

Le choix de la technologie d'exécution dépend — en simplifiant — de la qualité de la roche, de la « durée de stabilité », à savoir le temps durant lequel la cavité reste stable par elle-même, ainsi que de la portée libre, soit de la longueur et de la largeur qui séparent le front d'attaque du premier cintre de soutènement.

Par revêtement on désigne la paroi définitive du tunnel, alors que le « revêtement provisoire » sera appelé blindage.

De plus on distinguera :

— Le revêtement de soutènement comme élément de stabilité du tunnel.
— Le revêtement de parachèvement comme un placage sur la structure porteuse du tunnel.

La création d'engins d'exécution perfectionnés utilisés en combinaison avec la préfabrication permet des vitesses d'avancement élevées.

De ce fait, nous sommes particulièrement intéressés par la « méthode du bouclier » ou « tunnelier ».

Il faut toutefois signaler que le bouclier, qui était réservé aux terrains nécessitant un soutènement immédiat (roches altérées, terrain meuble, fluent ou aquifère), a tendance actuellement à être utilisé dans des terrains moins critiques.

Les raisons en sont les suivantes :

— Vitesse d'avancement élevée.
— Moins de personnel travaillant en souterrain.
— Protection immédiate des ouvriers.
— Préfabrication du revêtement de soutènement.

Exemples :

Le tunnel du *Seelisberg* sur la N2 Bâle-Chiasso — Lot *Huttegg* [4] [1].

[1] Supervision : Service fédéral des routes et des digues, Berne
Etudes et direction des travaux : Communauté d'ingénieurs : Elektrowatt SA, Zurich, Suiselectra, Bâle.
Expert géologue : T. R. Schneider, dr. ès sc., Männedorf/ZH.
Exécution : Murer SA, Erstfeld ; Losinger SA, Berne ; E. Baumann, Altdorf.
Préfabrication des éléments de revêtement (tubbing) : Consortium SIB, Flüelen (Stussi SA, Dälliken ; Igeco SA, Lyssach).

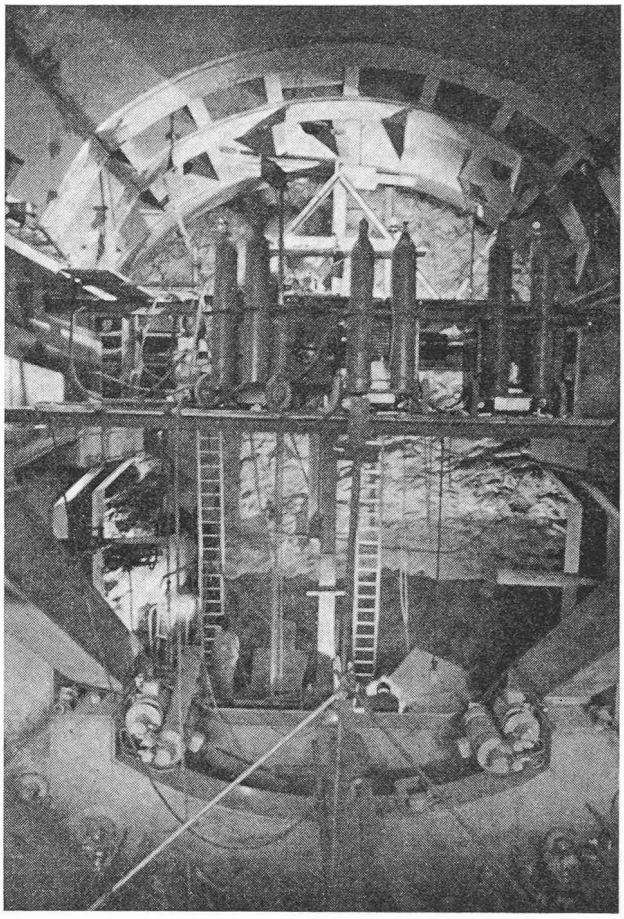

Fig. 2. — *Big John* en action.

Le lot *Huttegg* présente les caractéristiques suivantes :

— Zone centrale donc attaque intermédiaire.
— Longueur 1000 m.
— Même formation géologique pour tout le lot.
— Roche relativement tendre (normes du Valanginien), qui s'altère rapidement au contact de l'air et de l'eau.

Au vu des caractéristiques, l'exécution à l'aide d'un bouclier a été retenue, ce qui présente les avantages suivants :

— Excavation en section circulaire, très favorable du point de vue statique.
— Mise en place du revêtement de soutènement directement derrière la zone d'excavation, empêchant ainsi l'altération de la roche.
— Conditions accrues de sécurité pour les ouvriers.
— Vitesse d'avancement importante (10 m/jour de tunnel revêtu, en plein régime d'exploitation).

Il faut aussi signaler que la machine d'exécution *Big John* (fig. 1 et 2) utilisée doit travailler à l'air frais, ce qui a obligé à percer un système de galeries pilotes à l'avant du tunnel pour l'évacuation de l'air vicié.

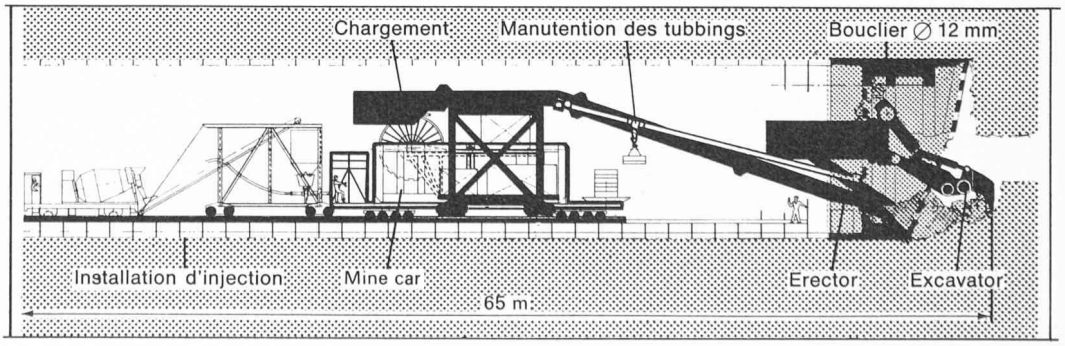

Fig. 1. — Schéma de la machine *Big John*.

Le consortium chargé des travaux s'est décidé pour l'achat d'un équipement *Memco* (Mining Equipment Manufacturing Corporation, Wisconsin/USA), aux caractéristiques suivantes :

— Diamètre du bouclier	env. 12 m
— Longueur de l'équipement	env. 65 m
— Puissance installée	4000 KVA
— Poids total de l'équipement	env. 1150 t

Le *tunnelier* (fig. 1) se compose des parties suivantes :

— Le bouclier, un cylindre de tôle d'acier épaisse (poids env. 380 tonnes), raidi par une robuste charpente métallique, renforcé à l'avant par un couteau annulaire et à l'arrière par une jupe en tôle.
— Couronne équipée de 38 vérins hydrauliques, prenant appui sur le revêtement définitif avec interposition d'un anneau métallique de répartition.
— Bras télescopique (erector), pivotant autour d'un axe à la partie postérieure du bouclier servant à la pose des voussoirs (tubbing); dimensions des types de base: 6,50 m × 1,50 m × 0,4 resp. 0,5 m (d'environ 9 resp. 11 tonnes).

Dans ce système, les vérins ont besoin d'un appui solide, le revêtement de soutènement doit donc aussi remplir cette fonction.

La jupe du bouclier laisse un vide annulaire d'environ 5 cm derrière le revêtement et l'espace excavé, qu'il faut remplir par injection de béton au travers d'orifices ménagés dans les voussoirs pour assurer la liaison avec la roche et la fonction statique de l'ensemble. Si cette injection est appliquée immédiatement, les tassements éventuels peuvent être en grande partie supprimés.

Dans une usine de préfabrication, située à Flüelen (fig. 3), environ 20 000 voussoirs de divers types et dimensions sont exécutés d'une manière industrielle, soit au total environ 180 000 tonnes.

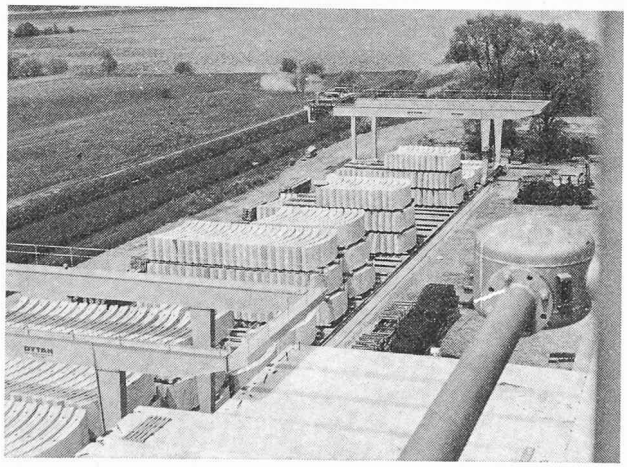

Fig. 3. — Usine de préfabrication à Flüelen : stockage des éléments. (Photo Aschwanden, Altdorf.)

Pour assurer l'avancement prévu du tunnelier de 9 m par jour, il faut en moyenne quotidienne fabriquer, livrer et monter 42 voussoirs, représentant 6 anneaux. Il s'agit d'environ 330 t/jour pour l'anneau de 40 cm et 420 t/jour pour celui de 50 cm.

La fabrication, le stockage et chargement de ces éléments préfabriqués, y compris la préparation des armatures (environ 75 kg Bi-Stahl/m^3) nécessitent en moyenne 1,8 heures/m^3, donc sensiblement moins que dans le cas d'un bétonnage sur place (fig. 4 et 5).

A titre d'exemples pour les revêtements de soutènements, il faut citer la construction en 1964 des deux tunnels routiers de 1,1 km de long sur la N1 à Baregg près de Baden ; en 1963/64 à Neuhausen sur la ligne à voie simple Schaffhouse-Winterthour, la construction « à ciel ouvert » d'un tronçon

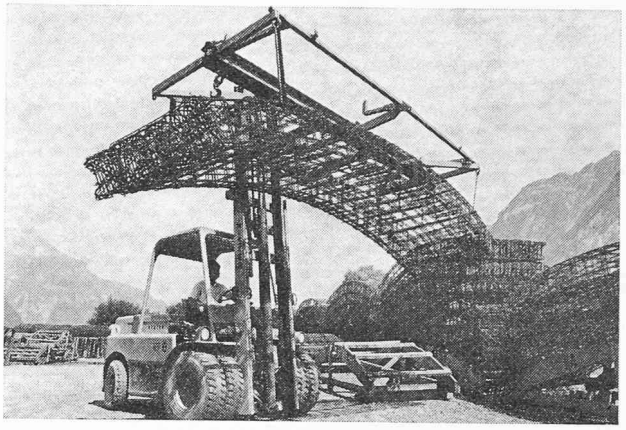

Fig. 4. — Armature d'un élément préfabriqué.

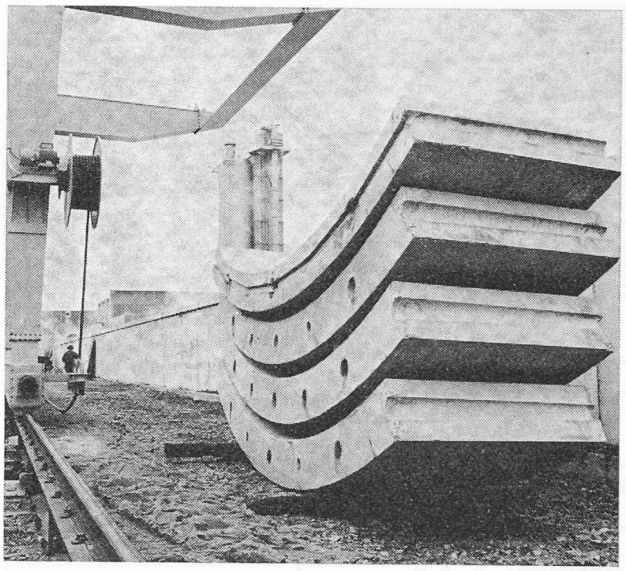

Fig. 5. — Eléments de tunnel préfabriqués.

de 150 m à l'aide d'éléments préfabriqués ; en 1973/74 à Genève, une galerie d'accès pour l'accélérateur des particules du CERN ; en 1966/67 sur la N3, le tunnel Blatt (Schafir et Mugglin SA) [5] et en 1967/69 Wollerau.

Pour les revêtements de parachèvement, il faut signaler encore l'utilisation de panneaux préfabriqués pour les tunnels du Teiftal, du Klausen et de Platti (R. Stüssi SA, Dietikon) [6], ainsi que la livraison et le montage de panneaux préfabriqués (Baustoffe SA, Coire) en 1967 pour le tunnel routier du San Bernardino [7].

2.2 *La galerie* est un ouvrage souterrain destiné au passage de l'eau, d'installations ou d'équipements. On peut concevoir, selon sa destination, la classification suivante :

— Galeries hydrauliques, en charge ou à écoulement libre (eau potable, d'irrigation, d'amenée ou de fuite d'un aménagement hydro-électrique, eaux usées, etc.).
— Galeries industrielles visitables ou galeries techniques (canalisations, installations, câbles, équipement, etc.).
— Puits verticaux ou obliques s'apparentant aux galeries par leur mode d'exécution (puits forcés, puits de chambres d'équilibre, puits d'ascenseurs, etc.).
— Galeries de mines.

Exemple : Galeries techniques et d'eaux pluviales à Genève 1975 (Département des Travaux publics ; ingénieurs : MM. Mouchet et Dubois, ing. SIA, Genève ; entreprise : Murer SA, Grand-Lancy ; préfabrication IGECO SA, Etoy) (fig. 6, 7 et 8) [8].

Il a été proposé et exécuté une variante d'entrepreneur, constituée par deux galeries parallèles ayant chacune un

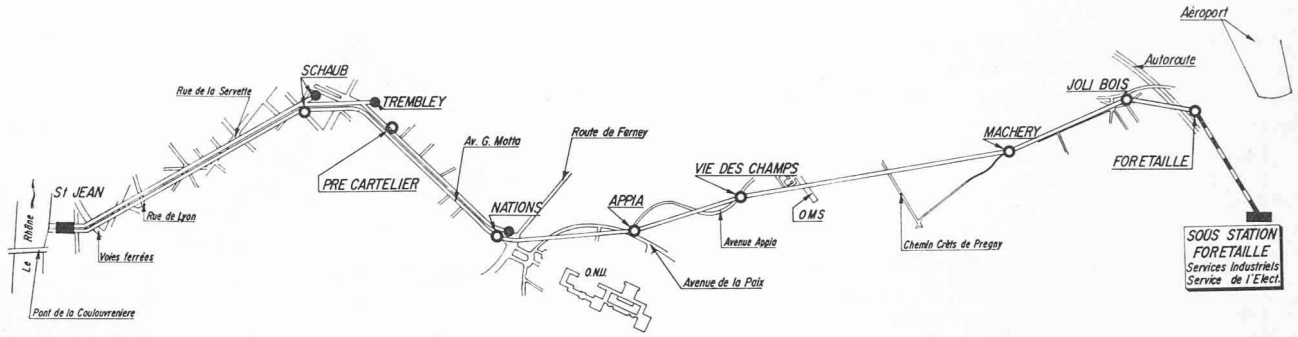

Fig. 6. — Tracé des galeries techniques et d'eaux pluviales, Genève.

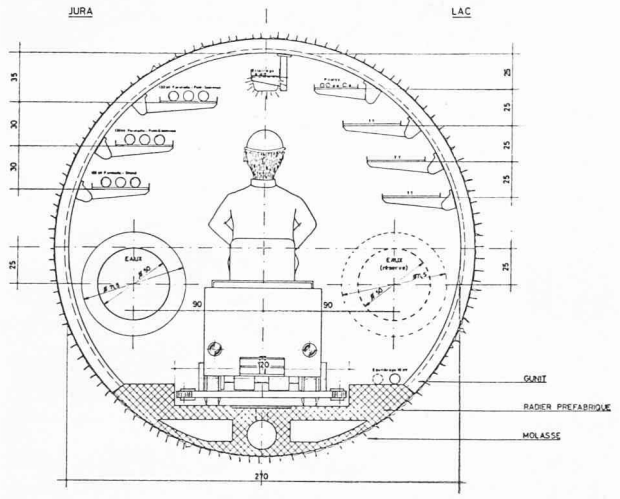

Fig. 7. — Coupe type de la galerie technique, Genève.

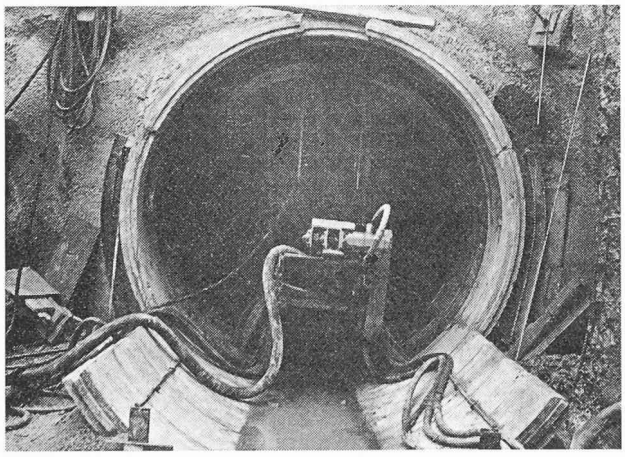

Fig. 8. — Eléments préfabriqués de la galerie technique en cours de montage.

diamètre intérieur fini de 2,80 m. L'une est destinée aux eaux pluviales et l'autre aux conduites des services publics.

L'exécution de ces galeries, envisagée avec une installation Caldwell équipée d'un bouclier et l'utilisation d'éléments de revêtement préfabriqués, a été partiellement abandonnée à cause du changement des conditions géologiques du terrain.

Le projet prévoyait l'exécution de 2350 m d'anneaux préfabriqués (diamètre extérieur 3,45 m ; diamètre intérieur 3,15 m), composés chacun de sept éléments de 0,8 m (dont 4 sont identiques), soit au total 20 566 éléments préfabriqués représentant 3650 m^3.

Cette méthode d'exécution s'est révélée efficace et a soutenu avantageusement la comparaison avec d'autres procédés, au point de vue technique, durée d'exécution et économie.

2.3 *Les passages souterrains*

En 1969, à l'occasion de l'amélioration du croisement de routes de St-Barthelémy à Fribourg, un passage souterrain pour piétons de 60 m de longueur a été exécuté en éléments préfabriqués (fig. 9) (IGECO SA) et à Courgevaux, près de Morat, un passage souterrain pour ruisseau de 20 m de longueur. Lors de la reconstruction de la route Fribourg-Bulle, deux autres passages souterrains pour ruisseau de 12,5 m et de 42,5 m ont été réalisés en éléments préfabriqués. Un drain de 700 m de longueur pour le compte de l'usine électrique de Flumenthal, en 1971, relève de la même technique. Un passage souterrain de 26 m de longueur, de 2 m de largeur et de 2,05 m de hauteur a été construit en 5 jours à l'intersection de la route cantonale Morges-Bière et de la route d'accès à Tolochenaz [9].

Les exemples cités ci-dessus, ainsi que beaucoup d'autres, laissent apparaître un besoin réel de ce genre d'ouvrage, à tel point qu'une étude précise de ce marché s'impose.

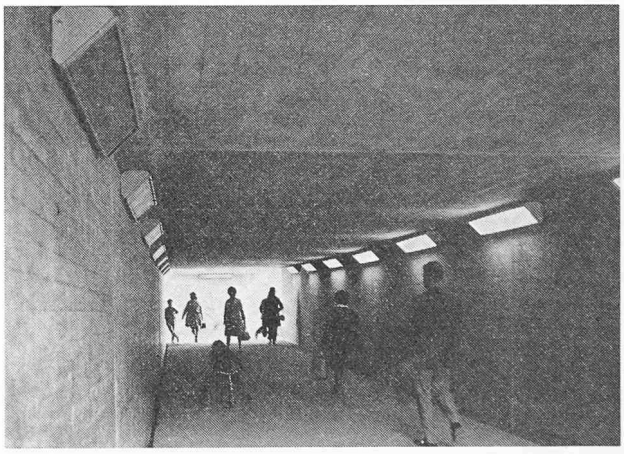

Fig. 9. — Saint-Barthelémy (FR) : passage inférieur pour piétons.

On pourra même envisager une certaine normalisation quant aux types et dimensions des sections.

2.4 *Les parois moulées préfabriquées*

Souvent, sur les chantiers situés dans les agglomérations, des fouilles profondes sont nécessaires à proximité immédiate de bâtiments existants [10, 11, 12].

Aux problèmes purement constructifs s'ajoutent ceux de l'environnement soit :

— aucune perte de terrain même en présence de constructions limitrophes ;
— pas de mesures supplémentaires pour la reprise en sous-œuvre des bâtiments voisins ;
— pas de limitation en profondeur des constructions, même dans les sols présentant des conditions défavorables ;
— aucune déformation des écrans des fouilles libérés ;
— pas d'ébranlement provoquant le tassement des constructions déjà existantes ;

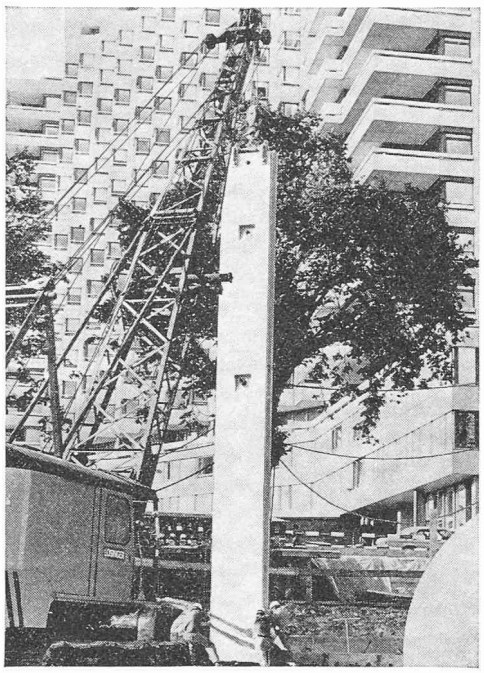

Fig. 10. — Mise en place d'un élément. Dans le fond, l'Hôpital de l'Ile.

— pas de pollution de l'eau phréatique ;
— aucune nuisance par le bruit.

La paroi moulée préfabriquée en béton armé ou béton précontraint satisfait simultanément et économiquement à toutes ces exigences.

Elle est devenue une méthode d'exécution souvent indispensable pour la réalisation de nos constructions actuelles, et plus particulièrement dans le milieu urbain.

A titre d'exemple nous citons l'utilisation des parois préfabriquées en 1973 à l'Hôpital de l'Ile à Berne (Losinger SA, Berne ; préfabrication IGECO) [13] et pour les tunnels du Forchbahn, dans la banlieue zurichoise à Zumikon (A. Piatti SA, Dietikon, et Swissboring SA, Zurich [14]).

2.5 *Les canalisations et conduites de tous genres*

A titre d'information, signalons que depuis de nombreuses années des entreprises spécialisées (Brodbeck SA, Bâle ; Brun SA, Emmenbrucke ; Hunziker SA, Olten ; Schmitter SA, Widnau, etc.) ont eu l'occasion d'acquérir une grande expérience, grâce à de nombreuses réalisations dans ce domaine (fig. 11).

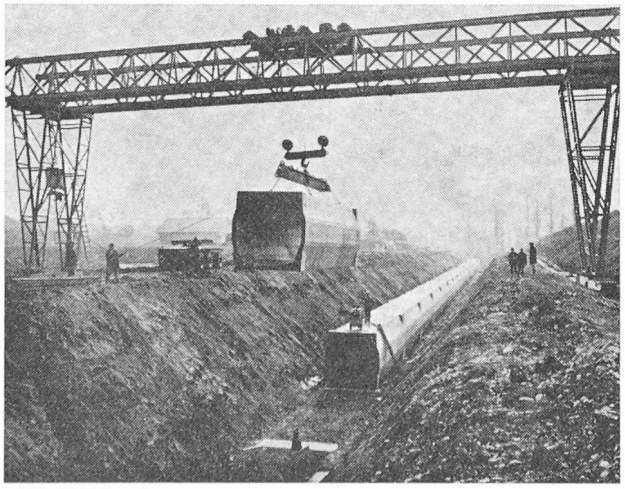

Fig. 11. — Pose d'une canalisation en éléments préfabriqués (Schmitter SA, Widnau).

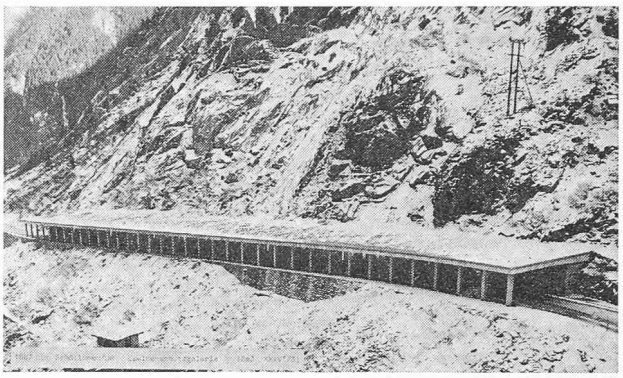

Fig. 12. — Galerie de protection contre les avalanches des Schöllenen/Uri. (Photo Bernhardt, Berne.)

A titre de complément, il faut encore mentionner la technologie de mise en place des éléments de canalisation de tous genres par la méthode « presse-tube » (Pressvortrieb) qui a prouvé son efficacité depuis de nombreuses années.

Nous rappelons ci-dessous d'autres domaines du génie civil où l'utilisation des éléments préfabriqués s'avère particulièrement intéressante et économique, à savoir :

— Abris souterrains.
— Dépôts souterrains pour divers matériaux (p. ex. combustibles, munitions, etc.).
— Débarcadères et estacades flottantes.
— Parkings souterrains.
— Pieux de tous genres.
— Galeries de protection contre les avalanches (fig. 12).
— Ecrans antibruit.
— Murs de soutènement.
— Anneaux de stockage à intersection pour accélérateur de particules.
— Ecrans de protection en béton lourd (baryte) pour centrales nucléaires.

Remarques finales

Encouragé par ces différentes réalisations dont les résultats laissent apparaître un certain nombre d'avantages, ainsi que par les possibilités offertes, on peut faire les remarques suivantes :

— L'utilisation des éléments préfabriqués en béton armé ou précontraint pour les travaux de génie civil correspond à des besoins réels, autant techniques qu'économiques. Le développement futur connaîtra probablement deux phases distinctes :
  — Dans une première phase, la préfabrication s'imposera aux seuls travaux où cette méthode peut être considérée comme un impératif technique.
  — Dans une deuxième phase, sous l'influence du manque de main-d'œuvre pouvant être affectée aux travaux de génie civil, ainsi que sous l'influence d'un réel besoin de rationalisation, l'appel aux éléments préfabriqués sera plus grand, l'utilisation des éléments préfabriqués va se généraliser et les premières mesures de normalisation feront leur apparition.

Un effort tout particulier devra être fait en vue de développer la spécialisation et la répartition du travail entre les entreprises. Il s'ensuivra une réduction, voire la suppression des « produits » et « activités » jugés non rentables. En revanche, la pénétration sur le marché de « produits rentables » s'accentuera, ainsi que la tendance à faire appel à des sous-traitants. C'est là une chance à saisir et une évolution qui offre d'excellentes perspectives pour les petites et moyennes entreprises.

Il faut bien se rendre compte que le développement qui se fait en Suisse dans les domaines cités ne peut pas rester en retard sur celui de l'étranger, et particulièrement de nos voisins. Tôt ou tard, notre industrie de la construction sera confrontée à la concurrence étrangère et, si nous voulons qu'elle demeure compétitive, il faut tenir compte aujourd'hui déjà de l'évolution à venir.

C'est là un débat inévitable qui doit être pris en charge dès maintenant par la profession elle-même. Débat qui n'exclut pas des solutions partielles dans l'une ou l'autre voie d'intégration. Cependant il ne fait aucun doute que le marché pour lequel nous devons nous battre sera en tout état de cause différent de celui que nous connaissons aujourd'hui.

BIBLIOGRAPHIE

[1] T. WIESEL : *La préfabrication des immeubles d'habitation en Suisse*. Schweizerisches Baublatt N° 61/62, 1975, Bulletin FIB/GCI/SIA N° 58/59/1975.

[2] P. PEITREQUIN, Prof. EPF-L : *Cours de construction de tunnels*. Lausanne 1972.

[3] *Construction actuelle de tunnels dans des massifs rocheux à résistance limitée*. Documentation GTS-SIA ; journée d'étude du 5.12.1976.

[4] F. DU PASQUIER : *La construction de la N2 sur la rive gauche de lac des Quatre-Cantons*. Chantiers, N° 9/1975.

[6] R. STÜSSI : *Vorfabrizierte Tunnelauskleidungen* ; Industrie-Rundschau, N° 7/1969.

[7] H. GERUNG : *Die Beton-Wandverkleidung im San Bernadino Strassentunnel*. Industrie Rundschau nr. 11/1967.

[5] W. ENG und P. LÜHBI : *Der Bau des Blatt-Tunnels und die Ausfürung der Erdarbeiten*. Strasse und Verkehr, N° 12/1968.

[8] *Galerie technique et galerie d'eaux pluviales*, Genève. Bulletin technique de la Suisse romande, N°s 4 et 9/1976.

[9] *Passage souterrain pour piétons à Tolochenaz/VD*. Bulletin technique de la Suisse romande, N° 1/1972.

[10] G. Y. FENOUX et S. MILANESE : *Applications récentes de la paroi préfabriquée PANASOL*. Travaux, décembre 1971.

[11] P. DUPEUPLE et J. GILLARD : *La paroi préfabriquée — Procédé PREFASIF*. Applications. Travaux, décembre 1971.

[12] A. BOLLIER et R. ADAMCZYK : *La pratique des parois moulées*. Bau-sélection, N° 2/1973.

[13] P. EDER et H. RÜMMELI : *La première paroi en panneaux préfabriqués en Suisse*. Bulletin technique de la Suisse romande, N° 25/1974.

[14] R. FREI und W. GRAF : *Schlitzwände mit vorfabrizierten Betonteilen*. Schweizerische Bauzeitung, N° 28/1973.

Adresse de l'auteur :
Tibère Wiesel
Ingénieur civil SIA
1111 Tolochenaz

Palplanches et connaissance du sol

par JEAN DE LATTRE, Hayange et Rombas (France)

La détermination d'un rideau de palplanches nécessite a priori une bonne connaissance du sol qui s'acquiert par un certain nombre de procédés en laboratoire et sur place. Tout ingénieur d'entreprise doit pouvoir interpréter les résultats qui lui sont communiqués. Cet exposé aura pour but de faire connaître tous ces moyens d'investigation et de montrer une interprétation des résultats.

Il convient d'abord de bien distinguer l'état naturel d'un sol in situ et l'état dans lequel peut se trouver une éprouvette d'essai.

Dans la nature, un sol peut être :

— non saturé : air et eau entre les grains ;
— saturé : uniquement eau entre les grains ;
— sous-consolidé : c'est-à-dire n'ayant pas terminé de tasser sous les charges qui lui sont appliquées ;
— consolidé : tassement d'équilibre atteint ;
— sur-consolidé : obtenu à des époques géologiques antérieures.

Une éprouvette peut être saturée ou non, mais pratiquement on s'assure de sa saturation préalablement à tout essai. Selon l'état donné à l'éprouvette, trois essais sont envisageables :

1. Essai non consolidé, non drainé (U-U). Après saturation, l'éprouvette est soumise rapidement aux contraintes biaxiales ou triaxiales sans évacuation de l'eau. Les grains n'étant pas en contact, il n'y a pas angle de frottement, mais par contre on pourra mesurer une cohésion représentant la plus ou moins grande facilité des filets liquides à circuler.
2. Essai consolidé non drainé (C-U). Après saturation, l'éprouvette est soumise sur toute sa surface à une pression uniforme $T3$, vanne de drainage ouverte. L'éprouvette se tasse jusqu'au point d'équilibre correspondant à la contrainte $T3$. On traite ensuite comme pour le cas précédent.

   Le sol se présente alors de la façon suivante :
   — filets liquides plus petits,
   — grains en contact,
   — poches d'eau sous pression donnant la pression interstitielle.

   On obtient donc :
   un angle de frottement ϕ_0
   une cohésion C_u, plus petite que dans l'essai précédent, du fait de l'accélération des filets liquides par la pression interstitielle.
3. Essai consolidé drainé (C-D). Après saturation et consolidation, on applique lentement la contrainte verticale $T1$, vanne ouverte.
   D'où : ϕ augmente à ϕ',
   C' diminue.

1. Essais de laboratoire

Il existe deux sortes d'essais :

— Essais d'identification permettant de déterminer la nature exacte du sol analysé.
— Essais mécaniques permettant de déterminer les caractéristiques mécaniques intrinsèques.

1.1 *Essais d'identification*

Ils sont au nombre de trois :

— la courbe granulométrique ;
— les limites d'Atterberg ;
— la teneur en CO_3Ca.

La *courbe granulométrique* est réalisée au tamis pour les grains $> 0{,}08$ mm et par sédimentomètre pour toutes les particules $\leqslant 0{,}10$ mm. La variation de densité donne le pourcentage des fins qui est déposé et, selon la loi des vitesses de Stokes, leur diamètre.