

Travaux de génie civil au centre de Perrelet

Autor(en): **Cruchon, Jean-Paul / Matthey, Pierre-Alain**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **121 (1995)**

Heft 19

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78621>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Travaux de génie civil au centre de Perrelet

Par le GIN:
Groupement
d'ingénieurs
Jean-Paul Cruchon,
ing. EPFL/SIA,
JPC ing. civils SA,
route d'Oron 2,
1010 Lausanne
et Pierre-Alain
Matthey,
Dr ing. EPFL/SIA,
Kung & associés SA,
av. de Beaulieu 43,
1004 Lausanne

Par ses dimensions de plus de 23 000 m² d'emprise au sol et de 326 000 m³ construits, le dépôt-atelier de Perrelet représente une construction peu commune dans la région de Lausanne.

Les portées des structures nécessaires à une circulation aisée des bus à l'intérieur du bâtiment, les surcharges admissibles élevées, la configuration du terrain et les conditions géologiques ont nécessité la mise en œuvre de techniques de construction souvent plus proches du génie civil que du bâtiment. C'est ainsi que le Groupement d'ingénieurs a été appelé à résoudre des problèmes aussi variés que:

- terrassements de grands volumes en terrain meuble et dans la roche molassique
- soutènement de grande hauteur à l'aide de parois gunitées, clouées ou ancrées, et de parois en géogrilles
- fondations profondes
- porteurs élancés en béton armé
- dalles en béton armé et précontraint jusqu'à 16 m de portée
- structures métalliques jusqu'à 23 m de portée
- ouvrage d'art sous la ligne CFF de Sébeillon.

L'ensemble des travaux placé sous la responsabilité du Groupement d'ingénieurs a représenté un volume de 38 millions de francs environ.

Des équipements informatiques performants et identiques dans les bureaux partenaires ont permis un échange aisé des informations, et une planification rigoureuse dans l'élaboration des plans par tous les mandataires, comprenant les procédures de contrôle et d'approbation, a permis de fournir en temps voulu les documents d'exécution à un chantier mobilisant près de cent personnes.

Plans d'utilisation, de sécurité et d'entretien

Les dimensions de l'ouvrage, les nombreuses zones d'affectation très différentes, ainsi que les installations techniques équipant le bâtiment rendent particulièrement pertinente l'élaboration détaillée des plans d'utilisation, de sécurité et d'entretien. Ces documents favorisent le travail de réflexion dès le début du projet et influencent positivement la phase de la conception structurale du bâtiment. Les règles d'utilisation incitent au dialogue entre les différents partenaires et le facilitent aussi.

La mise par écrit des états d'utilisation, des exigences et des mesures concernant l'aptitude au fonctionnement ainsi que la présentation schématique des situations de risque permettent la définition d'un programme de contrôle, nécessaire d'une part à l'obtention de la qualité souhaitée et d'autre part à la vérification de la conformité de l'ouvrage exécuté avec les modèles de calcul.

Cette étape, introduite dès 1989 dans la norme SIA 160 [1]¹, est incontestablement un premier pas en direction de l'introduction de l'assurance de qualité dans le processus de construction tel qu'il est présenté par un groupe d'architectes, dans un document de travail récent [2].

Géotechnique

D'une surface d'environ 37 000 m², la parcelle située dans la zone industrielle de Perrelet possède une stratigraphie assez complexe. Les sondages ont permis de déceler les principales unités stratigraphiques suivantes (de haut en bas) [3].

- Des dépôts de couverture formés de remblais divers ou de colluvions qui apparaissent dans tous les sondages.

- Des moraines de fond surconsolidées, situées sous les colluvions et présentes dans la majeure partie de la parcelle; elles sont associées par endroits à des strates fluvio-glaciaires et à des moraines latérales ou de retrait normalement consolidées.
- Des dépôts glaciolacustres surconsolidés, localisés entre les colluvions et la moraine de fond ou la molasse, mais présents dans la zone sud-ouest du terrain seulement; ces dépôts peuvent également contenir des intercalations fluvio-glaciaires.
- La molasse aquitaniennne constitue le substratum rocheux dont le toit possède une géométrie complexe; cette roche est composée de grès fins à moyens, durs à très durs, et de marnes tendres à très tendres qui se succèdent latéralement et en profondeur.

La profondeur du toit de la molasse a été localisée par les sondages et une campagne de géophysique (essais sismiques à l'explosif). Des observations sur place et des sondages complémentaires à la pelle mécanique ont montré que la localisation du toit de la molasse ainsi déterminée était fort peu précise, l'imprécision maximum atteignant jusqu'à 11 m dans la zone sud de la parcelle.

Forts de cette constatation, les auteurs du projet ont repris l'évaluation du toit de la molasse à l'aide du programme CANDIDE-ÉVALUATION², basé sur la méthode du krigeage (analyse statistique). Les résultats ainsi obtenus ont montré une très bonne corrélation avec les profondeurs mesurées lors du forage des pieux (fig. 1).

² CANDIDE-ÉVALUATION: progiciel d'évaluation et représentation de fonctions données par un semis de points (Eperon informatique technique SA)

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

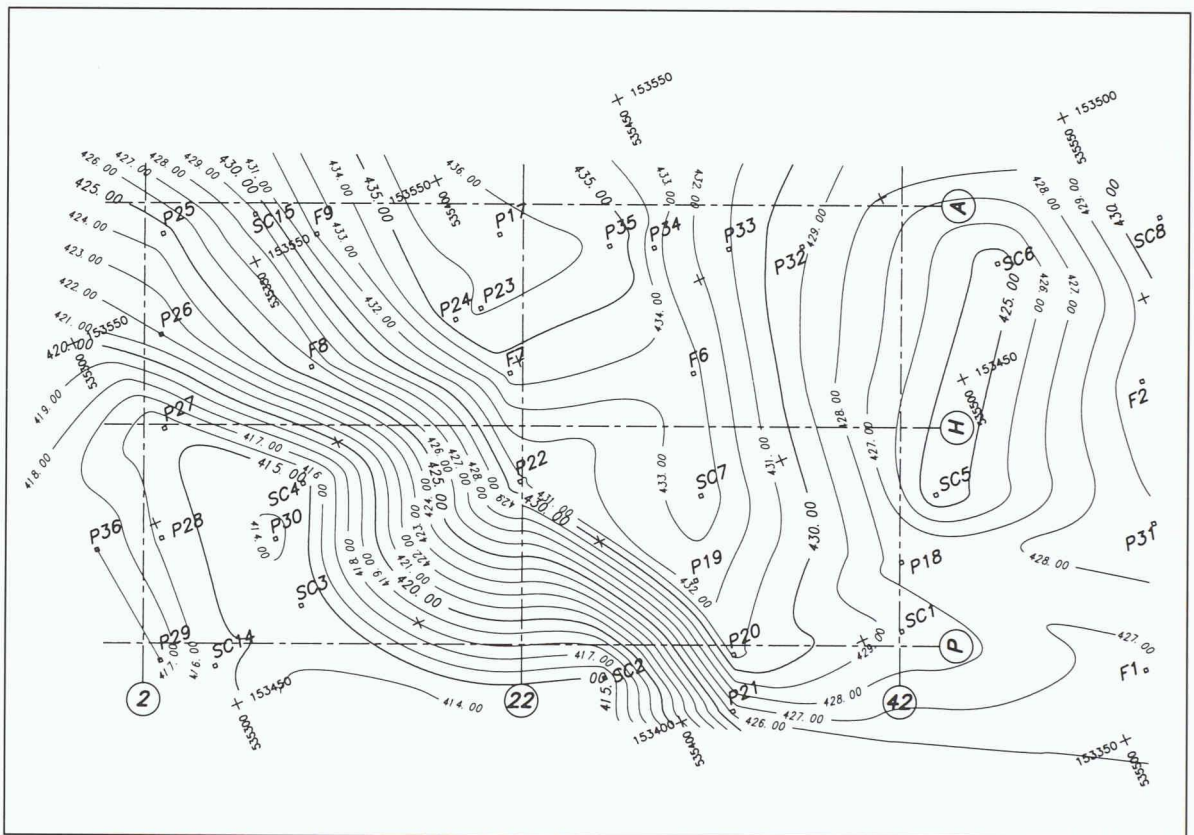


Fig. 1. – Relevé du toit de la molasse à l'aide du logiciel CANDIDE-ÉVALUATION

Terrassements et travaux spéciaux

La topographie irrégulière du site (altitude variant entre 423 et 436 m), les sept niveaux principaux des radiers ainsi que l'alternance de zones de terrain meuble et de molasse ont rendu la géométrie des terrassements complexe, nécessitant plus de quarante plans (tableau 1).

Les importants volumes d'excavation en terrain meuble et en molasse ont été partiellement réutilisés pour les remblayages contre l'ouvrage et pour la constitution des remblais. Les colluvions, les alluvions fluvio-glaciaires et glaciolacustres ne pouvaient guère convenir comme matériaux de remblai, en raison de leur hétérogénéité due à

leur imbrication mutuelle. En revanche, les moraines et les grès concassés ont été réutilisés à cette fin.

Suivant les conditions météorologiques, ce type de matériau ne permettait cependant pas d'atteindre les valeurs minimales exigées pour le module de compressibilité, et un apport de matériaux de meilleure qualité sur

Tableau 1. – Zones de terrassement

Objet	Niveau des fonds de fouille [m]	Conditions géologiques
Bassin de rétention	420,50	entièrement en terrain meuble
Locaux des tiers et lignes aériennes	425,00	en remblai, en terrain meuble et en molasse
Salle de sport	423,50	entièrement en molasse
Locaux des fosses et des tiers	427,40	en molasse et en terrain meuble
Locaux de stockage des ateliers	430,70	en terrain meuble pratiquement au niveau du terrain naturel
Vestiaires et citernes	434,00	en terrain meuble
Dépôt des bus	437,30	entièrement en remblai

40 à 60 cm a été nécessaire suivant les zones de remblai.

Un des problèmes posés par ces remblais, en particulier celui situé sous le dépôt du niveau 4, était celui des actions horizontales engendrées par la poussée des terres. Dans les cas les plus défavorables, ces poussées intervenaient au-dessus de la paroi de molasse sur les murs de la galerie technique ayant 12,00 m de hauteur libre. Pour éviter ces actions en tête de murs, un soutènement a été créé à l'aide de géogrilles d'une hauteur variant de 3,00 m à 5,50 m, fonctionnant selon les mêmes principes que la terre armée. Les étapes de mise en œuvre furent les suivantes (fig. 2 et 3) [4]:

1. Terrassement de l'assise avec une contre-pente de 10%
2. Mise en place du coffrage de tête
3. Pose du géotextile et remblayage
4. Compactage soigné du niveau jusqu'à une épaisseur de 0,25 m, y compris compactage de la levée de tête jusqu'à 0,35 m
5. Recouvrement avec les géogrilles de la levée de tête sur une longueur minimale de 1,0 m pour une hauteur inférieure à 4,0 m (1,5 m pour $h > 4,0$ m)
6. Solde du remblayage et compactage du niveau jusqu'à une épaisseur finale de 0,35 m

La paroi sous le mur en géogrille, d'une hauteur de 6,50 à 9,00 m, a été gunitée et clouée dans sa partie supérieure composée de terrain meuble, puis gunitée dans les zones de molasse altérée, et enfin sans protection particulière dans la molasse saine.

Afin d'éviter toute instabilité due à l'alternance en profondeur de couches de marnes et de grès dont les pendages étaient mal connus, les réactions de la dalle du dépôt ont été reprises sur un mur posé sur des micropieux, qui permettaient

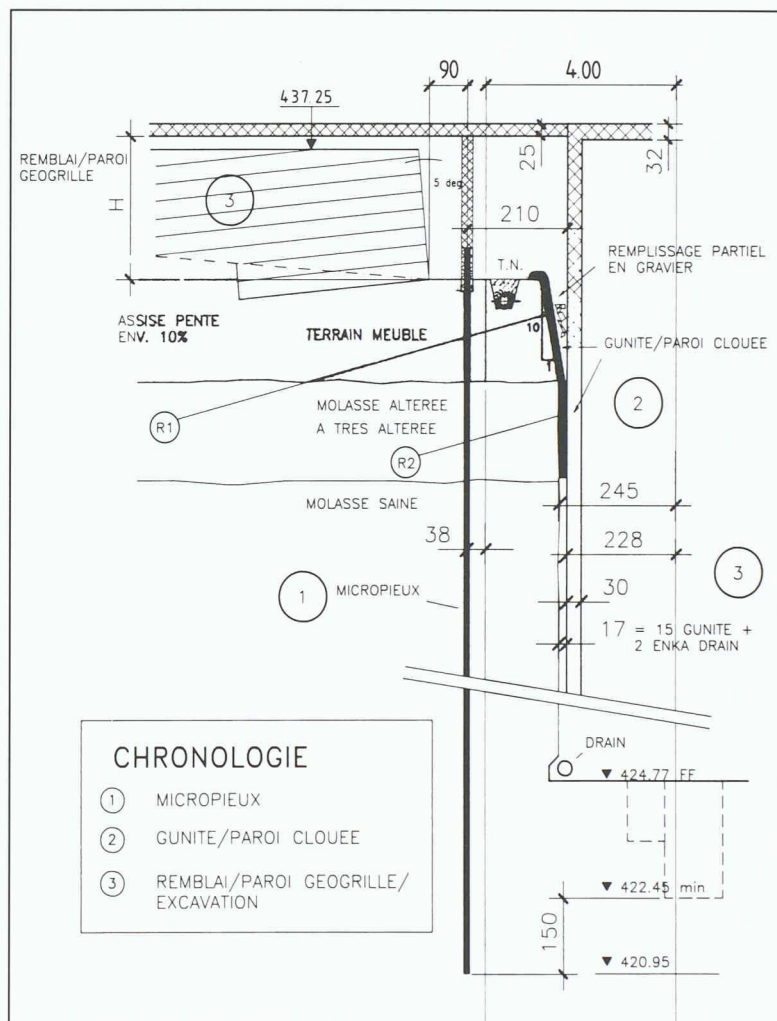


Fig. 2. - Stabilisation du terrain par micropieux et par géogrille: coupe type

d'une part de reporter les charges en profondeur et d'autre part d'assurer un clouage vertical de la paroi.

Fondations

Le système structural hautement hyperstatique et la conception générale de l'ouvrage rendaient celui-ci particulièrement sensible aux tassements différentiels. Vu l'alternance de radier sur remblai, sur terrain meuble et sur molasse, la conception des fondations a été la suivante.

- Fondations sur remblai et sur terrain meuble: radier sur pieux, micropieux ou puits à l'endroit des charges provenant des niveaux supérieurs
- Fondations sur terrain molas-

sique: radier, semelles tilantes et fondations isolées suivant l'intensité des charges et la qualité de la roche en place

Le diamètre des quelque 320 pieux, qui travaillaient essentiellement en pointe, variait de 60 à 120 cm. Le problème de l'alternance de bancs de grès durs et de marnes tendres latéralement et en profondeur a été résolu en imposant une longueur de fiche différenciée suivant la qualité de la roche, la fiche minimale étant fixée par l'épaisseur du banc de grès durs surmontant la couche de marnes tendres.

Des contrôles d'intégrité, basés sur l'analyse de la propagation des ondes de chocs le long du pieu, ont été prévus [5] et un es-

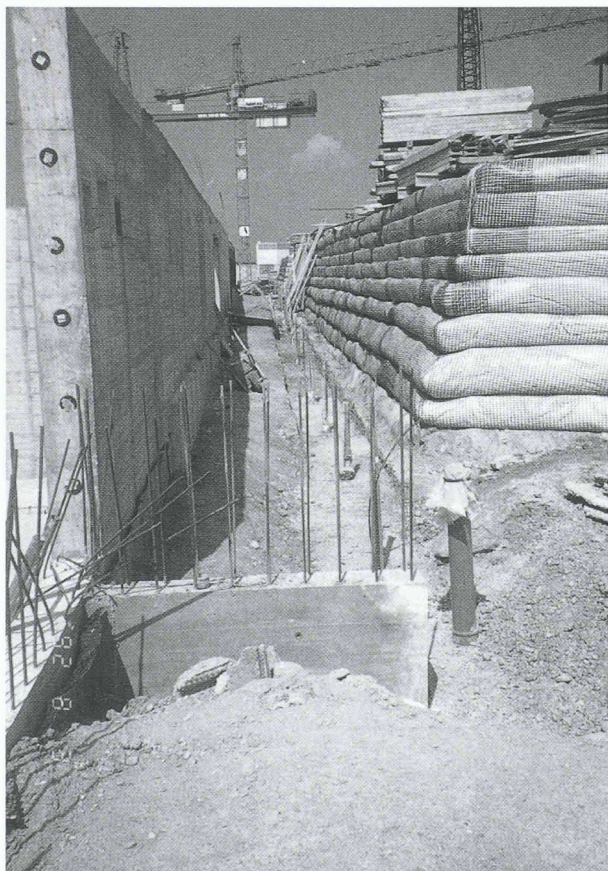


Fig. 3. – Stabilisation du terrain par micropieux et par géo-grille: vue du chantier

sai dynamique sur un pieu a été organisé.

Les résultats insatisfaisants obtenus lors de cet essai ont incité les auteurs du projet à vérifier d'autres pieux par la même méthode [6], puis à l'aide de deux essais statiques (fig. 4) [7]. Mis à part un essai satisfaisant, trois autres ont montré une insuffisance au niveau de la capacité ultime ainsi que des prévisions de tassements inadmissibles pour l'ouvrage. Les mesures de déformations le long du pieu et dans son prolongement ont permis de déceler une insuffisance au niveau de l'interface béton-molasse, due à un curage inefficace de la base des pieux. D'entente avec l'entreprise, il a été décidé d'une méthode de confortation des pieux en procédant, après plusieurs essais préliminaires, à un battage de la série de pieux présentant ce

défaut, de manière à assurer la capacité portante et l'aptitude au service de l'ouvrage. Il est intéressant de relever la bonne corrélation entre les essais dynamiques et statiques.

Structures porteuses

Les toitures de l'ensemble des volumes – dépôt, atelier et locaux administratifs – ont été réalisées en charpente métallique.

La charpente du dépôt, d'une longueur de 190 m, est constituée de fermes triangulées de 16 m de portée, articulées sur les colonnes (fig. 5). Afin d'éviter des éléments de contreventement gênant les circulations, la stabilité de cette charpente est assurée par des colonnes doubles diaphragmées dans le sens est-ouest et par encastrement dans le sens nord-sud. Ces colonnes sont protégées des chocs par des éléments bouteurés. En cas d'accident majeur conduisant à la rupture d'une colonne, le système articulé évite la propagation des dégâts aux travées voisines. D'importants efforts dus à la suspension et à l'ancrage des lignes de contact des trolleybus sont repris dans le plan de la membrure inférieure des fermes et reportés sur les colonnes.

La toiture de l'atelier est constituée de fermes triangulées de 23 m de portée (fig. 6).

L'ensemble des planchers-dalles ainsi que les porteurs des niveaux inférieurs ont été réalisés en béton coulé sur place. Les dalles de grande portée (16 m), soumises à des surcharges élevées (10 kN/m²), reposent sur des sommiers précontraints (fig. 6).

Le plancher du dépôt repose à la fois sur des pieux forés et sur du remblai réalisé avec des matériaux d'excavation. L'utilisation du progiciel CANDIDE³, qui fait appel au module de calcul FELINA⁴, a permis de tenir compte à la fois de l'appui sur les pieux et du module effectif de réaction des sols remblayés pour réaliser une structure particulièrement économique.

Le bâtiment administratif, qui comporte neuf niveaux et mesure plus de 80 m de longueur, a été réalisé sans joint de dilatation en utilisant des monotorons de précontrainte anti-retrait.

La construction des bâtiments a nécessité la mise en œuvre de 25 000 m³ de béton, 80 000 m²

³ CANDIDE: progiciel de calcul, analyse, dimensionnement et dessin (Eperon informatique technique SA)

⁴ FELINA: Finite Element Linear and Incremental Nonlinear Analysis, MSM de l'Univ. de Liège, LSC EPFL



Fig. 4. – Essai de charge des pieux sous un poids de 300 t

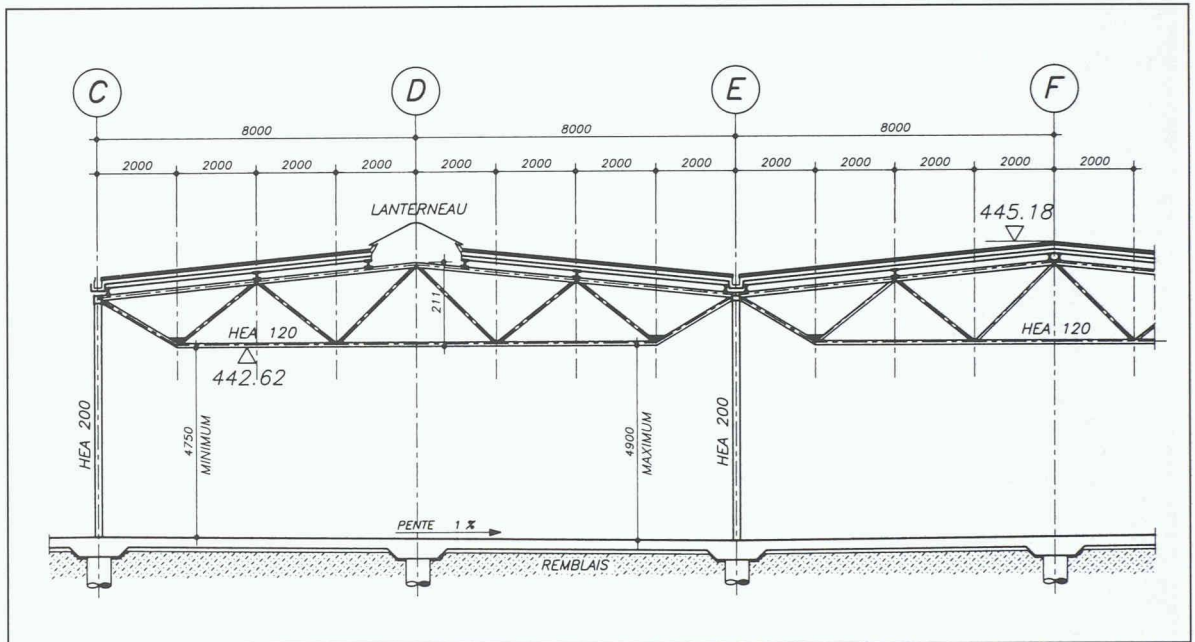


Fig. 5. – Structure triangulée de la couverture du dépôt: coupe partielle

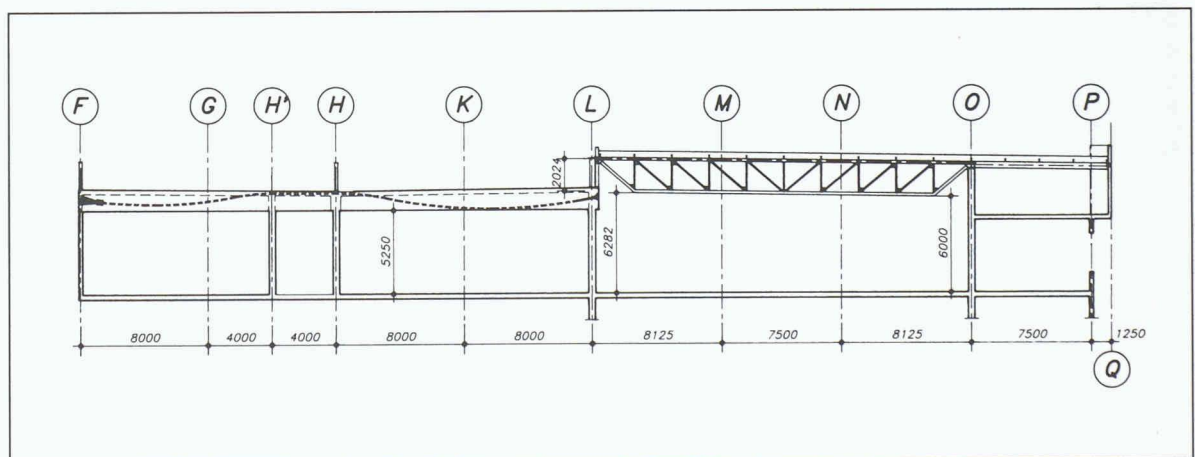


Fig. 6. – Structure mixte de couverture des ateliers: sommiers précontraints et charpente métallique



Fig. 7. – Structure provisoire sous la charge d'un train de marchandise: deux ponts métalliques reposant sur une pile centrale

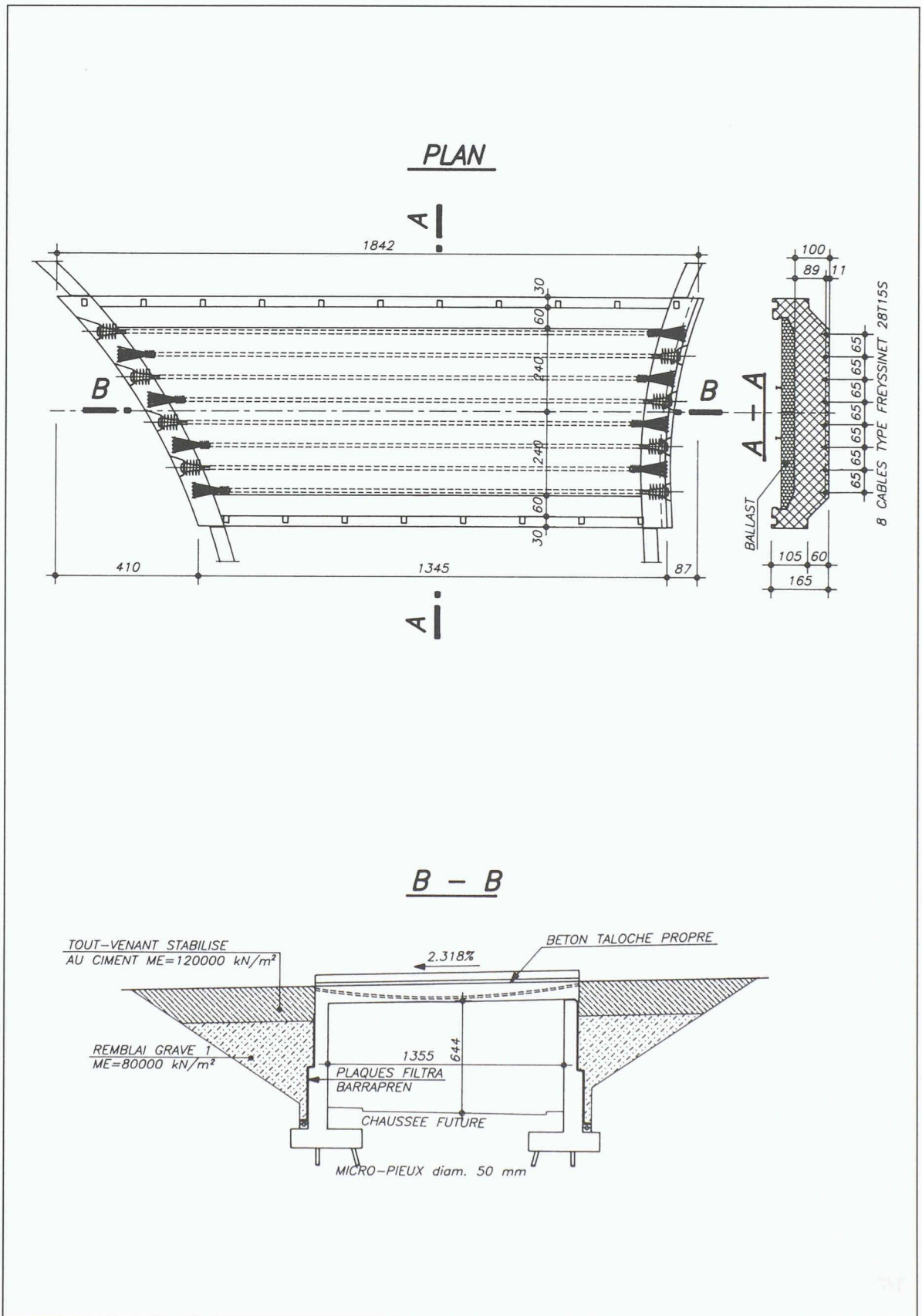


Fig. 8. - Passage sous-voie définitif: pont-cadre en béton armé avec tablier à précontrainte longitudinale

de coffrage, 2150 t d'acier d'armature et 780 t d'acier de charpente.

Accès routiers

La situation et la géométrie des accès routiers ont une influence déterminante sur la configuration de l'ensemble des bâtiments. D'abord prévu depuis la route cantonale Lausanne-Renens (RC 151) par un ouvrage dénivelé situé à l'ouest de la parcelle, l'accès au dépôt-atelier a ensuite été envisagé sur un tracé passant au nord du Centre de glace de Malley, puis rejoignant la RC 151 par un ouvrage dénivelé sous la ligne CFF de Sébeillon.

L'élaboration par le Département des travaux publics du canton de Vaud d'un projet de maxi-giratoire de forme rectangulaire au carrefour du Galicien a finalement conduit à choisir une route d'accès située au sud du Centre de glace de Malley. D'une longueur de 300 m, elle relie la parcelle des TL à l'angle sud-ouest du giratoire. Afin d'assurer l'accès au dépôt-atelier avant l'achèvement du giratoire, les TL ont dû assumer la construction de la branche

ouest de ce nouveau carrefour, qui comprend un ouvrage dénivelé sous la voie CFF de Sébeillon et passant au travers du remblai d'accès au viaduc du Galicien.

Cet ouvrage a été réalisé en sous-cœuvre, sans interruption du trafic ferroviaire, en utilisant des ponts métalliques provisoires. Un premier pont est posé pour réaliser, à l'aide de parois berlinoises étayées, l'excavation nécessaire à la pose d'une pile centrale provisoire. Celle-ci sert ensuite d'appui à deux ponts sous lesquels sont exécutés, à l'abri de parois berlinoises ancrées, les terrassements complets de l'ouvrage définitif (fig. 7). Ce dernier consiste en un pont-cadre en béton précontraint longitudinalement et fondé sur des micropieux forés (fig. 8). Les murs en aile des deux culées sont fondés sur des micropieux inclinés pour reprendre les efforts dus aux poussées des terres et aux surcharges des convois CFF.

Conclusion

La construction d'un ouvrage comme le dépôt-atelier des TL à Perrelet fait intervenir de nom-

breuses techniques de construction propres tant au bâtiment qu'au génie civil ou aux ouvrages d'art. Cet aspect pluridisciplinaire a rendu le travail des ingénieurs parfois astreignant, mais aussi varié que passionnant.

La mise en œuvre d'équipements et de logiciels informatiques modernes, tant dans le domaine du calcul que dans celui du dessin, a permis aux auteurs de faire face aux nécessités de ce chantier aux dimensions imposantes.

Bibliographie

- [1] Norme SIA 160 (éd. 1989): «Actions sur les structures porteuses», Société suisse des ingénieurs et des architectes
- [2] Groupe AQ d'architectes: «Assurance de qualité», in IAS 121 (1995) 15/16, pp. 312-313
- [3] CSD ing. et géologues conseils: Etude géotechnique, 1988
- [4] «Parois en géogrilles», document de travail, Oboni et associés SA, 1991
- [5] «Sonic integrity testing», rapport d'essai, BSA ing. conseils, 1991
- [6] «Foundation pile diagnostic system», rapport d'essai, BSA ing. conseils, 1992
- [7] «Essais statiques», rapport d'essai, Fehlmann Travaux Hydrauliques, 1992