

# 1. La préparation du terrain: c) Les fondations, les bassins et lagunes

Autor(en): **Cérenville, H.-B. de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **90 (1964)**

Heft 1: **Exposition nationale, Lausanne 1964, fascicule no 2**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66953>

## **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.

la circulation et le croisement des engins. Le remblayage s'est fait ensuite dans le même sens à l'intérieur d'une « lagune » artificielle, l'ouvrage de protection conservant toujours une avance de quelque 100 m. Le comblement s'effectuait ainsi, même par tempête, dans des eaux relativement calmes et les boues produites par le délavage du front de décharge se maintenaient toujours à l'intérieur de la « lagune », se déposaient par temps calme et étaient recouvertes par les nouveaux apports. Le chantier à l'avancement était totalement indépendant de celui du comblement, ce qui était essentiel pendant la mauvaise saison où les intempéries ont parfois paralysé les remblayages. Mis à l'eau par déversement direct des camions ou poussés au bulldozer, les remblais refoulaient devant eux les eaux du lac et étaient serrés par le passage des machines ; il n'a pas été nécessaire de procéder à des compactages particuliers.

Cette méthode a permis également de maintenir la plage municipale en exploitation durant tous les travaux. Au début de mai 1960, les remblayages furent interrompus, le front de décharge réglé et recouvert de sable ; la construction de la grève se poursuivit par contre durant tout l'été, cependant que la baignade s'effectuait dans un lac intérieur ouvert à son extrémité est. Grâce aux mesures prises, l'état tant chimique que biologique des eaux s'y est révélé au moins égal à ce qu'il était auparavant. Dès la fermeture de la plage, les comblements ont été activement poussés et la baignade s'est faite sur la nouvelle grève dès l'ouverture de la saison de 1961.

Les devis envisageaient l'exploitation et le transport d'une certaine quantité de matériaux de remblai ; les apports provenant des chantiers de la région lausannoise ont été suffisamment importants pour qu'il soit possible de renoncer à ces fournitures.

## **c) LES FONDATIONS. LES BASSINS ET LAGUNES**

par H.-B. de CÉRENVILLE, ingénieur-conseil

### **I. Organisation des études et des contrôles**

Les études préliminaires des problèmes de fondation ont débuté dès 1960 par un inventaire des renseignements disponibles sur la nature des sols à l'emplacement de l'Exposition. Il s'agissait alors de donner aux architectes et ingénieurs des divers secteurs et tâches spéciales les premières indications utiles pour les guider dans une certaine mesure dans le choix des implantations et des types de structure les plus appropriés. On espérait ainsi éviter des erreurs et contribuer à l'économie des projets de fondation.

Ce n'est qu'après implantation définitive des ouvrages qu'une trentaine de sondages tubés et d'essais de pénétration et plusieurs essais de charge ont été exécutés aux emplacements les plus délicats. Vu l'étendue de l'aire couverte par l'Exposition, il n'eut pas été possible de procéder à des sondages plus tôt sans risquer des dépenses inutiles.

Le programme primitif prévoyait d'achever les comblements pour le 31 décembre 1962 ; la Direction de l'Exposition demanda par la suite de terminer les travaux pour le 31 décembre 1961, ce qui raccourcissait de douze mois le délai de quarante-cinq mois prévu. Il a été possible de satisfaire cette exigence, sauf pour la surface occupée par le port de Vidy ; elle ne fut mise à disposition que le 1<sup>er</sup> juillet 1962, le remblayage du bassin ne pouvant s'effectuer qu'après avoir assuré, dans le nouveau port du Flon, l'amarrage des quelque 250 canots qui se trouvaient dans l'ancien.

### **Utilisation des terrains**

Les terrains conquis sur le lac restent domaine public puisqu'ils remplacent des eaux, elles-mêmes domaine public. Ils sont donc inconstructibles, sauf pour des ouvrages d'intérêt général (installations sportives, établissements balnéaires, chantiers de la Compagnie de Navigation, etc.).

La destination de deux secteurs est clairement définie. La partie centrale du comblement est réservée à l'agrandissement de Bellerive-Plage, dont la surface ancienne sera quadruplée ; les travaux y sont en cours. La zone orientale est attribuée à la Compagnie générale de Navigation pour y construire ses nouveaux chantiers ; ces installations seront achevées à la fin de cette année.

Le solde des comblements sera entièrement utilisé, pour l'instant, par l'Exposition nationale, le secteur du port en constituant la zone attractive, la partie centrale étant destinée à des pavillons et les surfaces sises à l'est de la plage municipale permettant la construction d'un parc à voitures provisoire pour quelque deux mille véhicules.

Les aménagements définitifs sont à l'étude et seront entrepris dès que le terrain aura été libéré, soit dès 1965.

Les ingénieurs des secteurs et des tâches spéciales ont donc disposé, le plus souvent suffisamment à l'avance, de données sur la nature des sols de fondation et leurs caractéristiques, de prescriptions sur les taux de travail admissibles sur le sol, et enfin d'indications sur les types de fondation appropriés.

Une fois établis les projets de fondation, ceux-ci ont fait l'objet d'un contrôle aussi bien du point de vue géotechnique que du point de vue statique et résistance. Les résultats des contrôles ont également servi à renseigner les autorités chargées de l'enquête administrative à laquelle étaient soumis les projets de construction.

La surveillance de l'exécution des travaux a été assumée par le Service des constructions de l'Exposition, avec le concours des ingénieurs auteurs des projets.

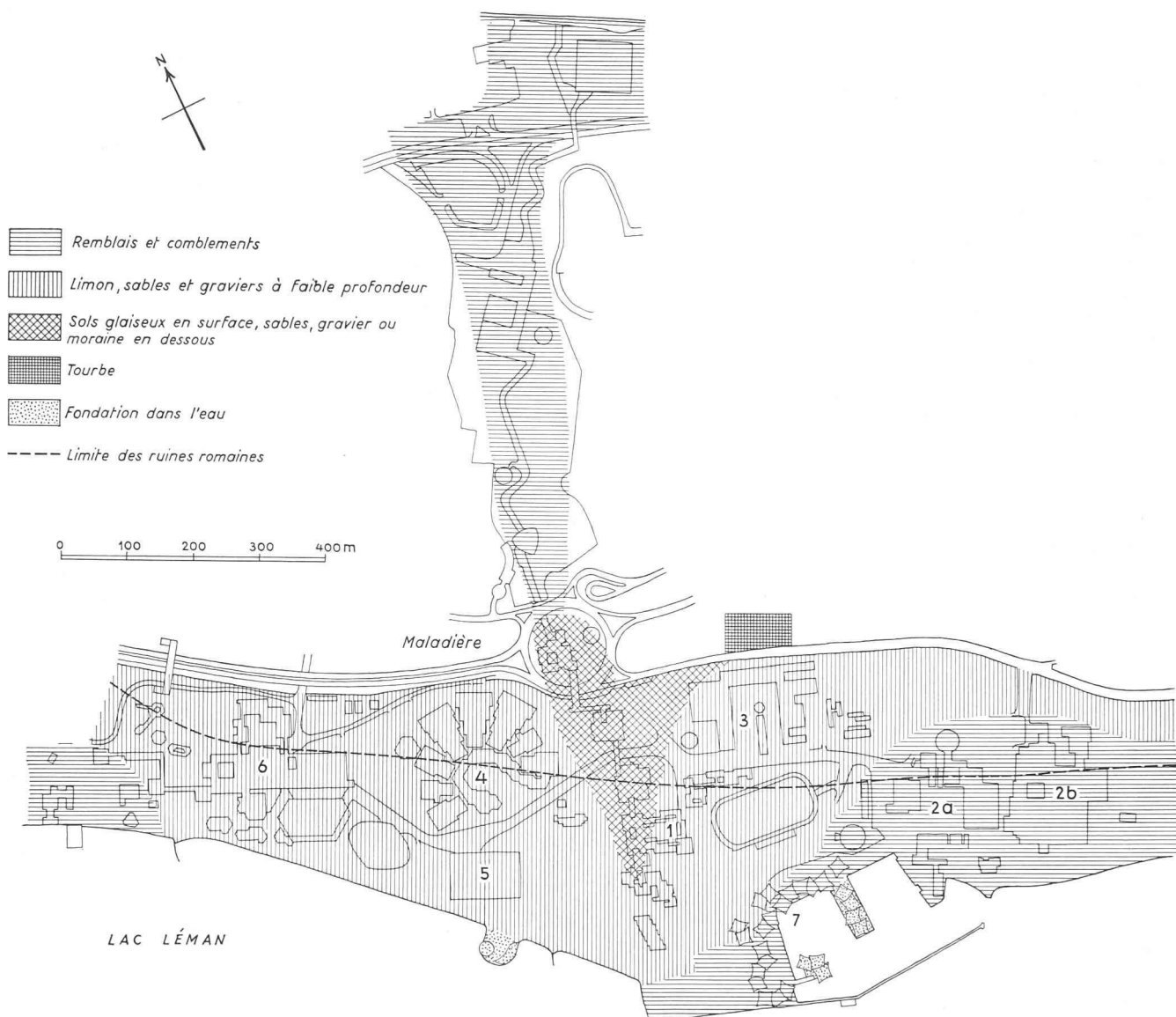


Fig. 7. — Plan schématique des sols de fondation de l'Exposition.

## II. Problèmes généraux

Les problèmes posés par les fondations de l'Exposition ont été dominés par quatre facteurs qui sont :

- la légèreté des constructions ;
- la présence de grandes surfaces de terrain rapporté, en général très récemment ;
- la présence d'eau à faible profondeur dans toute la région en bordure du lac ;
- la préfabrication des éléments porteurs.

D'autres problèmes se sont posés du fait de la présence des ruines romaines, de la nécessité de prévoir la destruction complète des fondations après l'Exposition, et enfin à cause de la très stricte limitation des crédits.

Les projets étant souvent audacieux, un certain nombre d'essais de charge a été nécessaire pour justifier certaines dispositions économiques ou pour réduire au maximum les coûts de construction.

On verra plus loin l'effet de ces divers facteurs sur la construction des fondations.

### A. Légèreté des constructions

On considère en général que plus une construction est légère, plus le problème des fondations est facile et

plus celles-ci sont économiques. Cela est vrai, mais seulement jusqu'à un certain point.

Ce point a cependant souvent été dépassé pour les constructions de l'Exposition. Le dépassement de cette limite est résulté du désir des auteurs de projets de prévoir des constructions aussi légères que possible, facilement démontables, qui comportent presque toujours des couvertures extrêmement minces, et pour lesquelles les forces du vent prennent une importance très grande par rapport aux poids morts.

En outre, les exigences des modes d'exposition, qui limitent souvent l'utilisation des contreventements, quand elles ne les suppriment pas entièrement, ont fréquemment conduit à reprendre dans les fondations des efforts horizontaux dans des conditions défavorables.

Il est donc résulté de la légèreté des constructions et de la faiblesse ou de l'absence de contreventements, que ce n'est en général pas la grandeur des pressions sur le sol qui a déterminé le dimensionnement des fondations, mais la sécurité au soulèvement ou à l'arrachement, et au glissement.

La sécurité au soulèvement a été obtenue en général par des charges de terre sur des semelles ou dans des

caissons en béton armé, ou alors par des pilotis ou des pieux métalliques injectés, capables de résister en traction.

Le rapport élevé des efforts du vent (forces horizontales et forces de soulèvement) relativement aux poids morts a conduit à faire respecter strictement les sécurités des normes SIA et à prêter une attention particulière au contrôle de la sécurité au glissement.

#### B. Remblais et comblements

De grandes surfaces de l'Exposition se trouvent sur des terrains rapportés, soit récemment, soit anciennement.

Les remblais les plus récents (un à trois ans) se trouvent dans la zone du lac comprise entre Bellerive-Plage et l'embouchure du Flon qui a été comblée sur une largeur atteignant 250 m, et sur des épaisseurs de 6 m au maximum.

On trouve également des remblais récents sur des épaisseurs importantes dans la vallée du Flon, jusqu'à la gare de l'Exposition à Sévelin. Ces remblais récents reposent en général sur des remblais anciens. Leur épaisseur totale peut atteindre 27 m.

On rencontre encore des remblais anciens d'épaisseur plus faible au bas de la vallée du Flon, et à l'extrémité ouest de l'Exposition en bordure du lac dans le secteur Terre et la Forêt.

Les remblais récents sont de qualité souvent irrégulière, car ils comportent aussi bien de bonnes terres que des sols argileux et des produits de démolition. Il ne s'y trouve cependant pas de gadoues et relativement peu de papiers, d'arbres de Noël ou de vieux pneus, et ceci seulement en des points localisés, encore qu'inconnus.

En revanche, les remblais anciens des secteurs Terre-Eau-Forêt et surtout ceux de la vallée du Flon, comportent des zones de gadoues et de matières organiques. Leur épaisseur connue peut atteindre 12 m et, on a pu s'en assurer lors d'un sondage, ces sols sont susceptibles de dégager des quantités importantes de gaz combustible.

Sur ces remblais et comblements, les fondations ont été constituées, suivant le type de superstructure, soit par des pilotis en bois ou plus rarement par des pieux en béton, soit, lorsque des tassements différentiels de quelques centimètres étaient admissibles, par des semelles à faible taux de travail.

On aura une idée de l'ordre de grandeur des tassements des remblais si l'on sait que le tassement des pyramides tronquées à l'embouchure du Flon a été de l'ordre de 25-30 cm.

#### C. Présence de l'eau

La présence de la nappe phréatique à faible profondeur, dans toute la zone en bordure du lac, que ce soit dans les comblements ou sur terre ferme, a nécessairement guidé le choix du niveau des fondations. On a donc cherché à tenir ce niveau en dessus de celui de l'eau, surtout à cause de la présence, dans toute la plaine de Vidy, de couches sableuses et graveleuses susceptibles de requérir des pompages importants.

Dans la mesure du possible, les niveaux des fondations ont donc été fixés en dessus d'une surface délimitée par une pente de 0,5 % à partir du niveau des hautes eaux du lac. En réalité, la construction des comblements

a provoqué une certaine hausse du niveau aquifère, sensible surtout à faible distance de l'ancienne rive, de sorte que certaines fondations prévues hors d'eau se sont trouvées en définitive légèrement immergées.

Les constructions exécutées dans l'eau du lac ont été fondées sur des pilotis en bois foncés par les soins du Service du génie de l'armée, à l'exception des ancrages des tentes du secteur du port qui ont été réalisés au moyen de pieux battus métalliques inclinés et subséquentement injectés de mortier de ciment pour obtenir une adhérence maximum dans les sables et les vases lacustres qui constituent le fond du lac.

#### D. Préfabrication des éléments porteurs

On sait qu'un gros effort de préfabrication a été fait pour presque toutes les constructions de l'Exposition. Si la préfabrication est souvent très rationnelle pour les superstructures, il faut bien dire qu'elle ne conduit normalement pas à des solutions économiques pour les fondations. En effet, il n'a pas été possible d'en exécuter, les méthodes en usage ne se prêtant pas aux fondations, sinon pour les pieux préfabriqués.

Il faut donc signaler que la préfabrication des éléments porteurs de superstructure, poteaux ou murs, conduit facilement à des solutions de fondation peu économiques à cause des exigences d'encastrement ou d'ancrage, qui requièrent des détails d'exécution souvent délicats ou des coffrages compliqués.

#### E. Problèmes divers

La présence des ruines romaines de Lousonna, dont la mise à jour était sujette à contrôle lors des excavations, a provoqué quelques complications. On a préféré, dans la mesure du possible, pour éviter les délais d'inspection, tenir le niveau des fondations en dessus de l'horizon susceptible de contenir des vestiges romains.

L'exigence imposée de démolir les fondations après l'achèvement de l'Exposition a été, et sera, une cause de dépenses importantes. Certaines fondations sont déjà munies de trous pour la pose des explosifs nécessaires à leur destruction. Par ailleurs, les pilotis foncés à proximité d'ouvrages existants ne pourront être arrachés et devront être coupés au fond du lac pour ne pas risquer de provoquer des dommages aux constructions voisines.

Enfin, la limitation des crédits a conduit à prévoir, dans certains cas, des fondations appuyées sur des sols susceptibles de geler. En effet, il est arrivé que la combinaison du coût de l'excavation plus celui du béton armé des fondations, plus celui de la fouille pour la démolition et de la démolition elle-même, eussent rendu certains projets irréalisables dans les limites des crédits possibles.

#### F. Essais de charge et mesures de tassement

Divers essais de charge ont été exécutés pour contrôler les résistances effectives et pour réduire au maximum les dépenses.

On a exécuté des essais de charge sur plaque sur les comblements, essais qui ont permis de constater que pour des semelles de 1 m<sup>2</sup> environ les tassements peuvent varier entre 5 mm et 2 cm pour une contrainte sur le sol de 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Le problème le plus délicat et intéressant, celui du glissement des fondations superficielles peu chargées sous l'effet des forces horizontales dues au vent, a été étudié sur un modèle de 1,20 x 1,60 m dont le schéma et les résultats sont donnés aux figures 2 et 3. Cet essai a confirmé que la prudence la plus grande est requise pour assurer la sécurité au glissement, surtout lorsque les sols sont détrempés.

On notera enfin les essais de traction sur les pieux reprenant les efforts des tentes dans le port, dont les résultats ont permis de fixer avec précision les longueurs de pieux à adopter. Un exemple du résultat de ces essais est donné à la figure 4.

Fig. 9. — Résultats d'un essai de glissement. (A droite.)

- s* Sol sec.
- d* Sol détrempé.
- H* Force horizontale.
- D* Déplacement horizontal.
- E* Enfoncement.
- $\sigma$  Contrainte maximale sur l'arête.

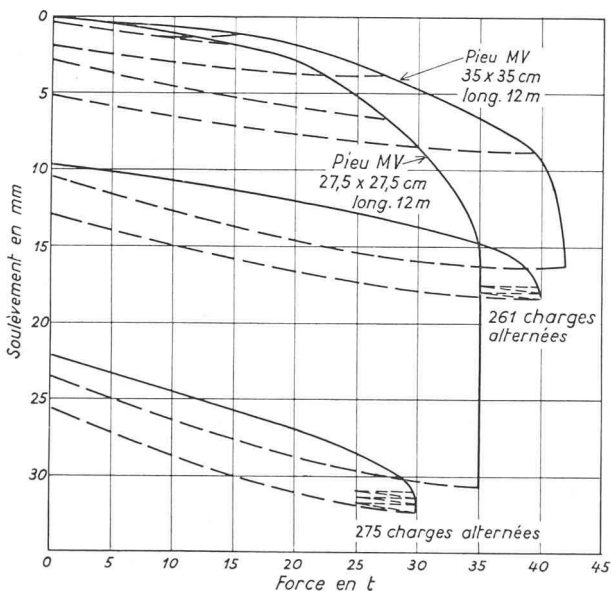


Fig. 10. — Résultat d'essai de pieux en traction.

### III. Lagunes et bassins

La recherche des solutions économiques pour la création des plans d'eau a commencé dès 1959. Diverses solutions ont été envisagées et des modèles ont été construits, tant pour contrôler les modes d'exécution que l'étanchéité et l'apparence des bassins.

La première solution examinée a été l'application d'une couche d'argile gris bleu pour constituer l'étanchéité. Cette méthode a dû, en définitive, être abandonnée, malgré l'avantage qu'elle avait de donner aux bassins un aspect naturel et une couleur d'eau plaisante. En effet, les inconvénients de l'argile se sont révélés très importants :

- mise en place irréalisable avec des machines courantes ;
- impossibilité de contrôler économiquement la consistance du sol à mettre en place ;

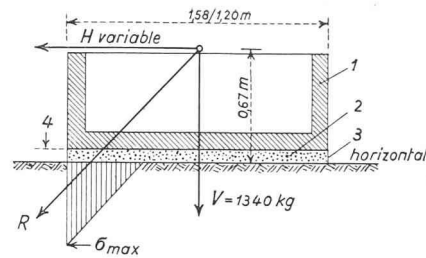
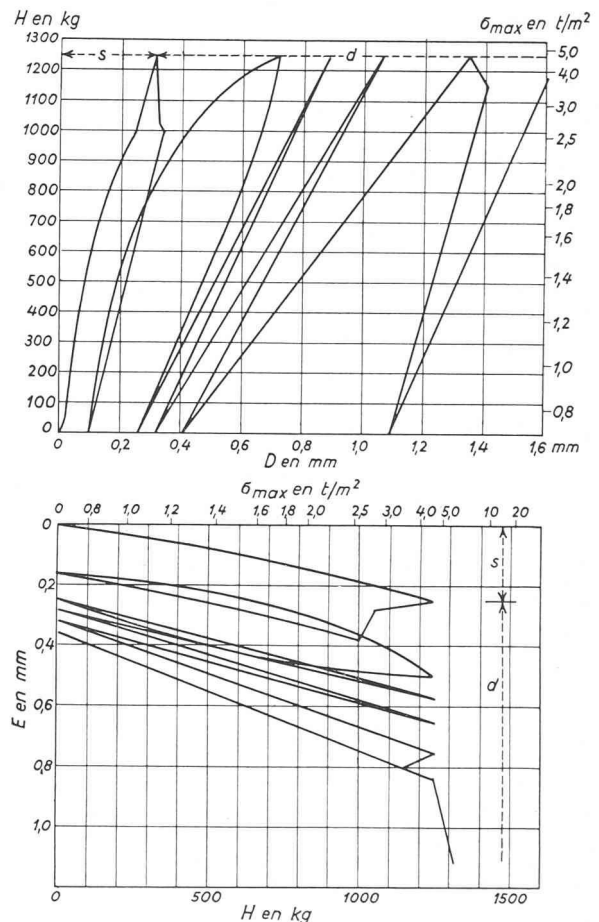


Fig. 8. Schéma d'un essai de glissement.

1. Caisson en béton armé.
2. Béton maigre.
3. Mesure du déplacement horizontal *D*.
4. Mesure de l'enfoncement *E*.



- impossibilité de vider les bassins plus de quelques jours de suite sans quoi l'étanchéité se fend ;
- eau trouble en cas de vent ; un à deux jours sont nécessaires pour qu'elle retrouve sa limpidité.

Par la suite, seules les solutions avec étanchéité artificielle ont été prises en considération : plastique projeté, toiles bitumées, plastiques en feuilles collées.

Le plastique projeté a été abandonné à cause de son coût élevé, les toiles bitumées à cause de l'exigence technique d'un ancrage dans des bordures en béton trop coûteuses.

En définitive, et après essais de plusieurs épaisseurs, il a été adopté une étanchéité en feuilles de polyéthylène de 0,3 mm accrochées sur les bords de digues en terre par des clous zingués de 20 cm passant dans des œillets, solution relativement économique, permettant de faire aisément les raccords aux trop-pleins et aux vidanges, et les réparations en cas de fuite par simple collage.

Cette étanchéité est posée sur 4-5 cm de sable pour éviter le poinçonnement sur des cailloux pointus, et recouverte d'une couche du même sable.

L'expérience a montré que les fonds doivent être traités chimiquement avant la pose de l'étanchéité pour tuer toute mauvaise herbe sous le fond étanche, celle-ci étant capable de percer les feuilles de plastique.

Les bassins de la vallée du Flon sont alimentés par l'eau de la ville de Lausanne traitées pour éviter la formation d'algues. Cette eau circule ensuite en circuit fermé ; seules les pertes par évaporation sont compensées par un apport d'eau fraîche.

## 2. LES STRUCTURES

### a) LA VOIE SUISSE

#### Exemple de structure originale. Sa conception et sa réalisation

par B. JANIN, ingénieur EPUL

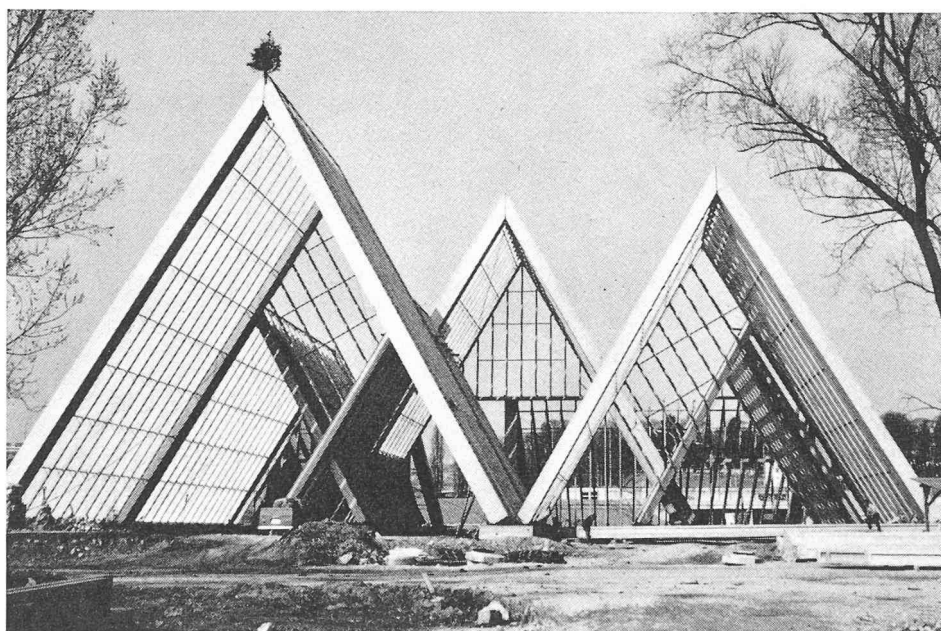


Fig. 11. — Une vue des « prismes » en chantier ; à l'intérieur de celui de droite, une camionnette donne l'échelle.

La thématique et la conception architecturale de la « Voie suisse » ont été exposées dans le premier fascicule consacré par le *Bulletin technique* à l'Exposition. Complétons-les du point de vue de l'ingénieur en précisant que les pavillons de la « Voie suisse » se distinguent par les volumes réalisés, en forme de prismes triangulaires, et par le matériau de base des structures, le bois ; celui-ci est utilisé également pour tous les ouvrages annexes, ouvrages d'accès à la Voie, passerelles de circulation surélevées, pergola continue du secteur « Un jour en Suisse ».

Chaque section est groupée dans un « village de prismes », offrant à l'œil, par le jeu des hauteurs différentes (10 à 27 m) et des inclinaisons diverses des pans aériens des prismes, par le jeu encore des implantations

Les lagunes dans la plaine de Vidy sont alimentées par l'eau du lac pompée à 80 m de la rive, également traitée contre la formation d'algues, renouvelant le volume entier des bassins en vingt-quatre heures.

Tous les bassins et lagunes sont munis d'une vidange et d'un trop-plein individuel évacuant les eaux de pluie au lac.

La profondeur de l'eau dans les plans d'eau est de 0,50 m. Vu cette faible hauteur, les digues sont constituées par des terres rapportées de qualité médiocre compactées par un simple damage mécanique.

des pavillons, décalés et parfois imbriqués, une impression étonnante de variété dans l'unité. Nous nous limiterons ci-dessous à la description de la structure de ces pavillons prismatiques.

La structure porteuse, en bois collé et cloué, du type « fermes multiples », constitue une sorte de barreaudage, des faces longitudinales des prismes, à l'espacement uniforme de 1,20 m. Pratiquement articulée aux pieds et au faite, elle est fondée sur deux banquettes continues en béton armé simplement posées sur le sol.

Les fermes courantes sont composées de poutres en I de hauteur constante, entretoisées entre elles tous les 3 m par une double file de fines cornières métalliques 45/45/5 (au faite, cornières plus fortes) ; les âmes des poutres ne sont raidies qu'aux articulations extrêmes.