

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 89 (1963)  
**Heft:** 14

**Artikel:** La couverture de l'orangerie du nouvel établissement horticole de la ville de Lausanne, à la Bourdonnette  
**Autor:** Roubakine, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-66344>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.01.2025

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

$$(30) \begin{cases} |\psi\rangle = |n_{q1}\rangle |n_{q2}\rangle \dots |n_{qN}\rangle \\ \text{et :} \\ E = \sum_q E_q = \sum_q \left( n_q + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_q = \\ = \text{énergie totale.} \end{cases}$$

D'après l'équation (29), l'hamiltonien partiel  $H'_q$  ne peut pas modifier le nombre de phonons du mode  $q$ ; l'état  $|n_q\rangle$  est stationnaire. Donc l'énergie de chaque mode est constante, ce qui entraîne que l'énergie totale est également constante. En s'arrêtant à l'approximation harmonique, il ne peut pas y avoir de dissipation d'énergie dans un mode.

On peut le montrer d'une autre façon en étudiant de plus près les opérateurs  $a_q$  et  $\bar{a}_q$ ; on trouve :

$$(31) \quad a_q |n_q\rangle = \sqrt{n_q} |n_q - 1\rangle$$

$a_q$  = opérateur d'annihilation. Il fait passer l'état  $|n_q\rangle$  contenant  $n_q$  phonons en l'état  $|n_q - 1\rangle$  où un phonon a disparu.

$$(32) \quad \bar{a}_q |n_q\rangle = \sqrt{n_q + 1} |n_q + 1\rangle$$

$\bar{a}_q$  = opérateur de production. Il a créé un phonon dans le mode  $q$ .

Mais dans  $H_q$ , il intervient l'opérateur  $a_q \bar{a}_q$  par exemple qui, appliqué sur l'état  $|n_q\rangle$  donne :

$$\begin{aligned} a_q \bar{a}_q |n_q\rangle &= a_q \sqrt{n_q + 1} |n_q + 1\rangle = \\ &= \sqrt{n_q + 1} \cdot \sqrt{n_q + 1} |n_q\rangle \end{aligned}$$

Le nombre de phonons  $n_q$  reste donc stationnaire. Il ne peut pas y avoir d'interactions phonon-phonon dans l'approximation harmonique.

#### RÉFÉRENCES

- <sup>1</sup> J.-M. ZIMAN : *Electrons and Phonons* (Oxford, 1960).
- <sup>2</sup> R.-E. PEIERLS : *Quantum Theory of Solids* (Oxford, 1955).
- <sup>3</sup> L. BRILLOUIN : *Wave Propagation in Periodic Structures* (Mc Graw-Hill, 1946).
- <sup>4</sup> P. A. M. DIRAC : *The Principles of Quantum Mechanics*, pg. 136 (Oxford, 3<sup>e</sup> édition, 1947).

## LA COUVERTURE DE L'ORANGERIE DU NOUVEL ÉTABLISSEMENT HORTICOLE DE LA VILLE DE LAUSANNE A LA BOURDONNETTE

par G. ROUBAKINE, ing. EPUL<sup>1</sup>

Dans le groupe de constructions constituant le nouvel établissement horticole que le service des parcs et promenades de la Direction des travaux de Lausanne a érigé dans la région de Vidy, figure une orangerie, c'est-à-dire une serre de grandes dimensions destinée à l'hivernage des grandes plantes décoratives (palmiers, lauriers, orangers).

La couverture de cette serre est constituée par une coque autoportante, dont la forme très particulière, assemblage de plusieurs formes simples (et qui résulte d'ailleurs d'un programme fort précis élaboré par M. A. Desarzens, chef du service des parcs et promenades) a ceci de particulier qu'elle échappe totalement au calcul et que, de ce fait, l'auteur du projet s'est trouvé entièrement à la merci des résultats d'essais sur maquette.

On sait que certains voiles dont la forme simple peut être définie par des équations de la géométrie analytique (surfaces de révolution, conoïdes, paraboloides hyperboliques, par ex.) sont calculables avec une approximation suffisante sans recours à des essais de laboratoire. D'autres formes (coupoles elliptiques, absides semi-sphériques, etc.), tout en exigeant des essais sur maquette, permettent un calcul très approximatif qui peut fournir les bases d'un premier dimensionnement et permet d'autre part un certain contrôle des résultats d'essais.

L'orangerie de la Bourdonnette appartient à une troisième catégorie : tout calcul approché que l'on pourrait tenter conduirait à des résultats complètement

erronés. La seule voie possible consiste à réaliser un modèle, à l'essayer et à le modifier ensuite, voire même à le recommencer, de manière à obtenir des efforts intérieurs et des déformations compatibles avec le matériau utilisé et le type de construction étudié. Le prix d'une maquette et celui des essais étant élevés, il est important de réduire au minimum ces tâtonnements.

La première condition pour cela est que le projeteur possède une certaine « intuition statique » qui lui évitera de se lancer dans une voie sans issue. Il peut être très utile, d'autre part, de réaliser d'abord une maquette très primitive en carton, qui pourra donner une première idée de la rigidité et de la stabilité des formes choisies. (A ce point de vue, il est intéressant d'utiliser des surfaces développables.) Il sera possible ensuite de passer à la construction d'une maquette de laboratoire, en prenant soin de prévoir d'emblée des modifications simples permettant d'éviter la réalisation d'un second, voire même d'un troisième modèle.

#### Programme et conception générale de l'orangerie

Le programme de cette serre avait été défini ainsi : couvrir une surface de 400 m<sup>2</sup>, sans appuis intérieurs, par une construction aux façades entièrement vitrées.

<sup>1</sup> Cette étude est tirée du Recueil de travaux offert au professeur A. Stucky, en hommage de reconnaissance, sur l'initiative de l'Association amicale des anciens élèves de l'École polytechnique de Lausanne, le 27 octobre 1962, l'année de son 70<sup>e</sup> anniversaire.

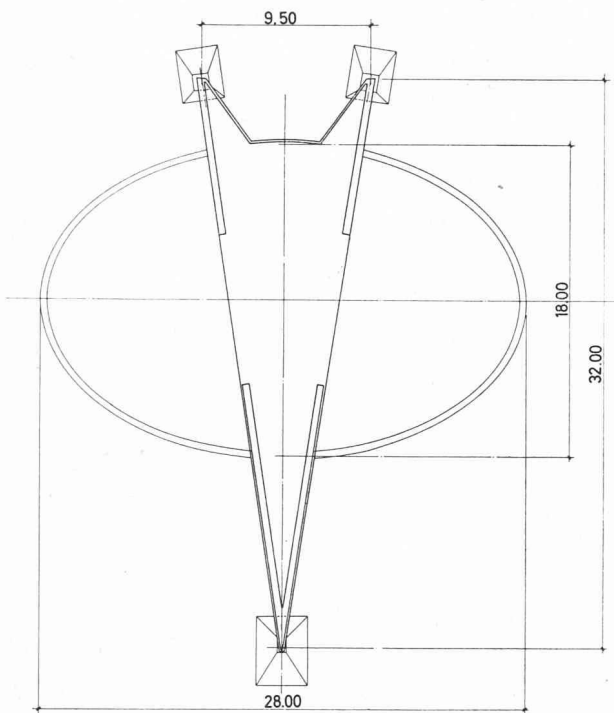


Fig. 1. — Plan.

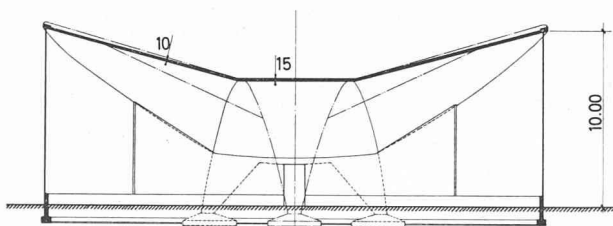


Fig. 2. — Coupe transversale.

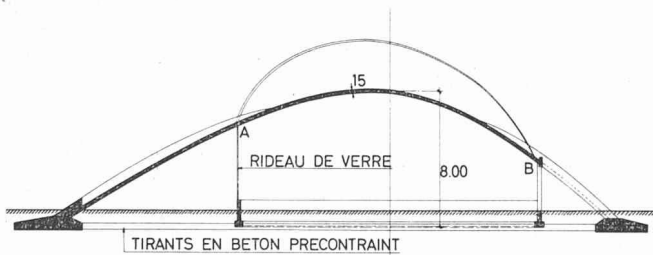


Fig. 3. — Coupe longitudinale.

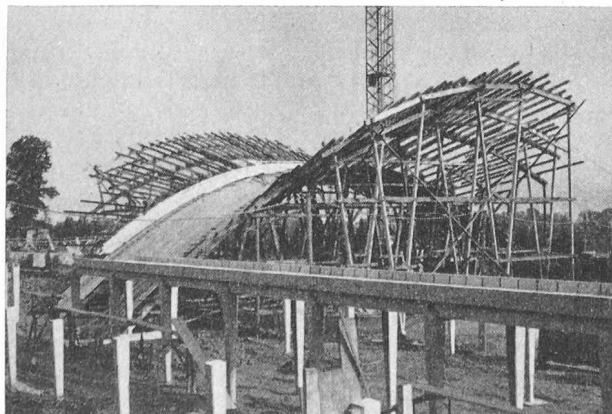


Fig. 4. — L'échafaudage.

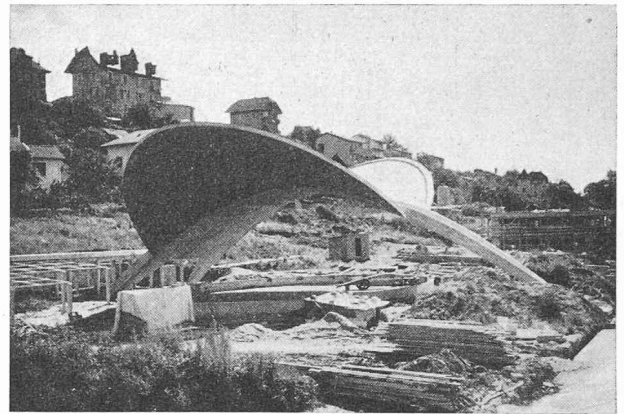


Fig. 5. — Vue de l'ouest.

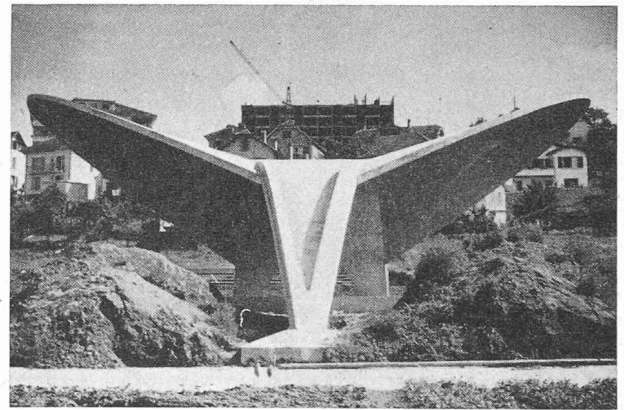


Fig. 6. — Vue du sud.

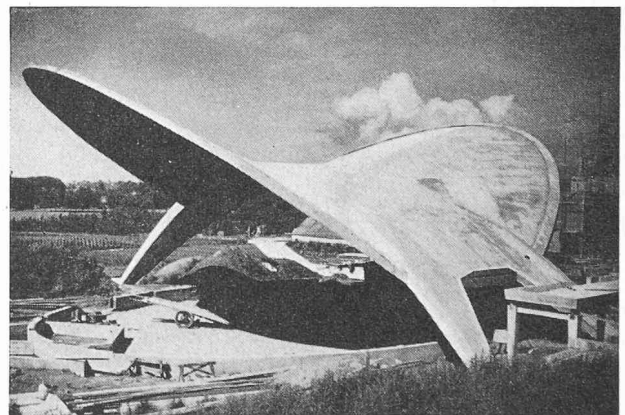


Fig. 7. — Vue du nord.

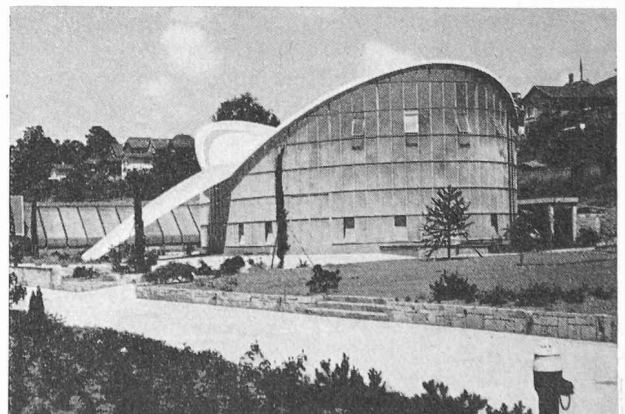


Fig. 8. — L'orangerie terminée.

Une pénétration optimum de la lumière devait être assurée le matin et le soir, alors que l'insolation intérieure devait être limitée au milieu de la journée. La hauteur du plafond au centre de la surface couverte devait être de 7 m et la hauteur minimum des portes sur la façade sud, nécessaire pour l'entrée des plantes, de 5 m.

Plusieurs projets ont été étudiés : toiture plane inclinée sur cadres en béton armé, parabololoïde hyperbolique, coupole hémisphérique en métal et quelques formes de coques en béton armé.

La solution choisie satisfait au mieux le programme, tout en étant la moins coûteuse. Il s'agit d'une coque autoportante constituée par l'assemblage de trois surfaces développables : deux portions de cône à axe horizontal, ouvertes à l'est et à l'ouest et liées à une portion de cylindre, à axe horizontal également, formant un arc dirigé du nord au sud. En plan, cette surface cylindrique présente la forme d'un triangle isocèle très allongé et elle ne repose que sur les trois sommets de ce triangle (fig. 1 à 3).

Le plan de la serre est une ellipse dont le grand axe a 28 m et le petit axe 18 m. Les parois de la serre sont constituées par un rideau de verre, un cylindre à axe vertical et à base elliptique. Son intersection avec les deux surfaces coniques de la coque détermine le pourtour de cette dernière dans l'espace.

La portée théorique de l'arc supportant les cônes, entre l'axe de l'appui sud et celui des deux appuis nord est de 32 m. L'écartement de ces derniers est de 9,50 m. La flèche théorique de cet arc est de 8 m. L'épaisseur des cônes est de 10 cm et celle de l'arc de 15 cm.

### Essais

Les essais sur maquette ont été réalisés au Laboratoire de statique de l'EPUL, sous la direction de M. le professeur F. Panchaud.

Dès l'abord, il fut possible de constater que la conception générale était valable, la coque étant stable et suffisamment rigide. Les épaisseurs admises étaient largement suffisantes. Elles furent néanmoins conservées pour des raisons d'exécution.

Par contre, on observa une déformation excessive de l'arc porteur : aux points *A* et *B* (naissances des cônes, fig. 3), la flèche sous poids propre et charge de neige dépassait 20 cm. Il était donc nécessaire d'augmenter considérablement le moment d'inertie de l'arc dans le voisinage de ces points. Ce résultat a été obtenu en surajoutant au voile quatre nervures partant des appuis et s'effaçant dans les cônes.

Les éléments définitifs du projet ont été fixés après cette seule correction. Les vérifications ont été ensuite

effectuées pour les autres cas de charges (poussée du vent, poids d'un palan de 5 t suspendu à la clé, efforts thermiques). La poussée de l'arc a été déterminée. Le sol de fondation étant médiocre, cette poussée a été absorbée par deux tirants disposés en V, en béton précontraint par deux câbles Freyssinet de 50 t chacun, placés dans le terrain et reliant l'appui sud à chacun des appuis nord.

### Exécution des travaux

La face inférieure du coffrage a été réalisée par des planches de 27 mm courbées sur des carrelots dirigés selon les génératrices des cônes et du cylindre de l'arc (fig. 4). La partie la plus délicate a été le coffrage gauche de la nervure de raidissement des bords du cône. La forme du boisage avait été définie par les trois coordonnées de points équidistants de 2 m environ, par rapport à un système d'axes dans l'espace.

Cônes et arc sont armés d'un double treillis d'armatures de 7 à 10 mm, espacées de 5 à 15 cm.

En ce qui concerne le béton, on s'est surtout efforcé d'obtenir une bonne compacité et à réduire au minimum l'eau de gâchage. Cela a permis tout d'abord d'éviter sur 9/10<sup>es</sup> de la surface un coffrage de la face supérieure (seules les zones inclinées à plus de 45° ont nécessité un double coffrage). En outre, cela a permis d'obtenir une étanchéité suffisante pour faire l'économie d'un revêtement d'étanchéité coûteux : malgré la présence de vastes zones tendues, la simple protection d'un badigeon bitumineux s'est révélée suffisante.

### Déformations

Les déformations de la coque ont été mesurées dès son décintrement et pendant une durée de six mois. Dans leur ensemble, ces déformations ont reflété très fidèlement les prévisions des essais. C'est ainsi qu'au décoffrage les extrémités des cônes se sont abaissées de 23 mm alors que le sommet de l'arc s'élevait de 8 mm. Les chiffres correspondants des essais étaient de 28 et 10 mm.

Mais ces mouvements se sont prolongés, selon une courbe asymptotique, pour atteindre des valeurs 2,5 fois supérieures, du fait des déformations plastiques et d'un léger tassement des fondations.

En prévision de ces déformations et des mouvements entraînés par les variations de charges et de température, les montants métalliques du rideau de verre sont fixés, à leur sommet, au béton de la coque par des assemblages glissants permettant un mouvement de 6 cm.

## BIBLIOGRAPHIE

**Vocabulaire technique trilingue**, par Pierre Naslin, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur militaire de l'Armement. 2<sup>e</sup> édition. Paris, Editions de la « Revue d'optique théorique et instrumentale », 1962. — Un volume 14×22 cm, xvii + 421 pages. Prix : 40,50 F.

Cet ouvrage, adressé plus spécialement au public scientifique et technique, comprend vingt glossaires techniques français-anglais-allemand, dans lesquels les expressions appartenant à une même discipline sont

classées dans un ordre logique, et trois répertoires alphabétiques permettant de retrouver rapidement un terme donné dans le corps de l'un des glossaires. Dans chaque spécialité, l'auteur s'est efforcé de rassembler les « mots-clés » dont la connaissance permet de ne recourir que rarement au dictionnaire technique.

#### Sommaire :

1. Glossaires : 1. Termes généraux. — 2. L'entreprise. — 3. Propriétés et essais des matériaux. — 4. Pièces de machines. — 5. Outils et machines-outils. — 6. Métrologie dimensionnelle. — 7. Métallurgie. — 8. Thermodynamique et