

## Techniques et matériaux

### Comportement de l'église Saint-François à Lausanne pendant les travaux d'aménagement de la place\*

EDOUARD RECORDON

Saint-François, c'est une place et une église, chères aux Lausannois. L'église du XIII<sup>ème</sup> siècle, précieux monument d'art et d'histoire, donne son charme à la place.

Huguette Chausson [St-François, 1970] en dit ceci:

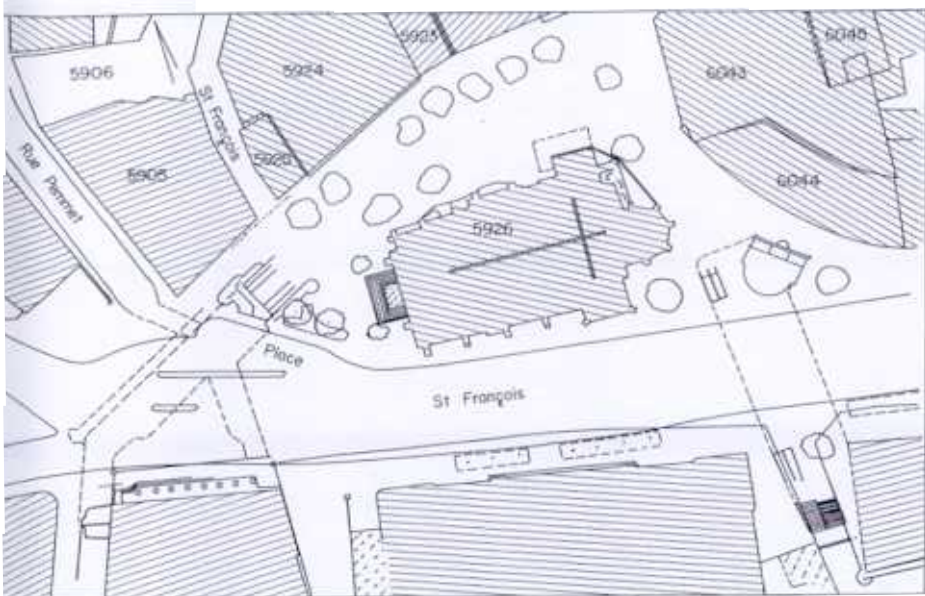
Elle se dresse, sereine au centre de tant de bruits divers. Elle monte, gracieuse, se découpant contre le ciel. La beauté de son chœur contraste avec le caractère hétéroclite des bâtiments qui l'entourent. Il y a en elle tant d'harmonie qu'elle s'étend à toute la place.

Pour rendre à la place son rôle essentiel de lieu de rencontre, l'autorité municipale proposait en Conseil communal, dans son préavis du 18 juin 1976, de l'aménager de manière à mieux séparer les circulations, en réservant aux piétons toute la partie nord et en canalisant au sud la circulation des véhicules. Le projet comprend la construction de deux passages souterrains pour piétons (*Fig. 1*) reliant la zone nord d'une part à la rue de la Grotte et, d'autre part, au Petit-Chêne, par-dessous les voies de circulation automobile.

La construction des deux passages souterrains nécessitait la creuse de fouilles descendant à 6,50 m au-dessous du niveau de la place et s'approchant à 5 m environ du chœur de l'église du côté du passage 'Grotte'. La pose de diverses canalisations dans des fouilles moins profondes, mais plus proches des fondations de l'église, représente aussi un danger pour l'édifice.

Préoccupées de la conservation de l'édifice, la Commission fédérale des monuments historiques, la Section des monuments historiques du Service cantonal des bâtiments et l'Association pour l'église St-François ont demandé à la Direction des Travaux de la ville qu'un dispositif de contrôle par mesures de haute précision soit mis en place.

\* Cet article a déjà paru en langue française dans *Ingénieurs et architectes suisses*, septembre 1980.



Situation des deux passages souterrains. À droite, en traitillé, le passage Grotte

Il nous a paru intéressant de décrire le dispositif de mesure, de donner les résultats principaux de ces mesures et de les analyser pour montrer quel est le comportement normal, avant travaux, d'une construction aussi délicate qu'une église de cette dimension, construite dès le XIII<sup>ème</sup> siècle, modifiée et agrandie à diverses époques, et quel a été son comportement durant les travaux.

### Histoire de la construction de l'église

Les renseignements historiques qui suivent sont extraits de l'ouvrage de Marcel Grandjean.<sup>1</sup>

Dès les premières invasions, la ville de Lausanne dut se développer sur la colline de la Cité. Le déclin de l'ancienne ville romaine d'Avenches conduisit l'évêque Marius (saint Maire) à déplacer, au VI<sup>ème</sup> siècle, son siège épiscopal à Lausanne.

Peu à peu la ville s'étendit dans les quartiers de la rue de Bourg, de la Palud et de St-Laurent. La période des XII et XIII<sup>ème</sup> siècles correspond à un développement intense de la ville qui atteint une population de 5000 à 6000 âmes. Par la suite, et jusque vers 1800, sa population ne croîtra que très lentement puisque alors elle n'atteindra que 10 000 habitants. Le 23 janvier 1257, le pape Alexandre IV intervenait auprès de l'évêque de

Lausanne, Jean de Cossonay, pour qu'il favorisât l'établissement à Lausanne des moines franciscains venant de Bourgogne. La construction du couvent, qui devait s'étendre au sud de l'église actuelle et occuper toute la place, dut commencer peu de temps après, puisque la 'maison' des franciscains est mentionnée déjà en 1262. La muraille de la ville passait, au XIII<sup>ème</sup> siècle, à proximité de l'église. Une porte de la ville existait à l'est, la porte de Rive, adossée au chœur, donnant accès au chemin descendant à Ouchy, le chemin de la Grotte actuel. La porte de Rive fut démolie en 1828 et le chœur, dont la stabilité paraissait précaire, fut renforcé par deux cercles métalliques.

La construction de l'église commença probablement vers 1260. Elle était presque achevée en 1272. Cette date a été choisie pour célébrer le 700<sup>e</sup> anniversaire de l'église St-François en 1972. Le chœur apparaissait alors, à quelques détails près, tel qu'il est aujourd'hui, mais la nef devait être couverte, selon les déductions autorisées par le peu d'épaisseur des murs et par les contreforts insignifiants, d'une simple charpente en bois.

Au début du XIV<sup>ème</sup> siècle, la chapelle de Billens, dans la paroi nord de la nef, fut construite.

L'église St-François fut gravement endommagée par le feu, probablement en 1368 lors de l'incendie qui dévasta la ville. Elle fut reconstruite entre 1383 et 1387 et l'architecte flamand, Jean de Liège, prit une part importante à cette reconstruction. On lui doit aussi les précieuses stalles de 1387 que l'on peut voir aujourd'hui encore dans l'église. Les murs de la nef furent exhausés pour permettre la construction des voûtes reposant sur des contreforts intérieurs qui n'existaient pas précédemment. Dès lors, la nef est divisée en cinq travées, alors qu'auparavant ce n'était qu'un simple local longitudinal avec charpente du toit apparente. Sur la voûte de la nef, devant le chœur, apparaissent les armes des seigneurs qui permirent, par leurs dons, la reconstruction de l'église. Ce sont la maison de Savoie, les seigneurs de Russin et de Billens et les comtes de Gruyères, héritiers des sires d'Oron, bienfaiteurs de l'Eglise.

Le clocher est construit peu après, il date des dernières années du XIV<sup>ème</sup> siècle ou des toutes premières du XV<sup>ème</sup>. Dès lors, l'église ne changera guère d'aspect jusqu'à nos jours, mais elle sera restaurée à diverses reprises et renforcée par des arcs-boutants.

Le cloître fut pillé lors des guerres de Bourgogne en 1476. En 1536, Pierre Viret s'installe dans la chaire de St-François. Peu de temps après, Berne interdit le culte catholique et ferme le cloître lors de la suppression de tous les couvents du canton de Vaud. Les édifices conventuels sont loués à des artisans ou servent de magasins et de caves à la Ville. L'église devient la propriété de la ville de Lausanne. Dans la seconde moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle, des maisons de maître prennent la place des constructions méridionales du couvent et les derniers bâtiments jouxtant l'église disparaissent en 1896, lors de la construction des lignes de tramways. C'est à cette époque que la place prend son aspect actuel. Pendant 600 ans

<sup>1</sup> Grandjean, M., *Les monuments d'art, et d'histoire du canton de Vaud, Tome 1. La Ville de Lausanne*. Editions Birkhäuser, Bâle 1965.

environ, de 1250 à 1850, elle avait existé du côté nord de l'église seulement. La construction du pont Pichard, l'actuel Grand-Pont, de 1839 à 1844 et l'aménagement jusqu'en 1900 des principales rues actuelles marquent le début de la circulation moderne à Lausanne. Ces travaux importants nécessitèrent l'abaissement du niveau de la place, probablement de plusieurs décimètres, ce qui constitua un affaiblissement de la force portante des fondations.

Des travaux de restauration de l'église furent entrepris sous la direction de l'architecte O. Schmid dès 1919. En 1932, M. le professeur Jules Bolomey fut chargé d'une importante étude pour le renforcement de la voûte par construction d'arcs armés, au-dessus des nervures, absorbant les poussées horizontales supplémentaires dues au poids de la nouvelle chape en béton armé. Ces travaux furent exécutés sous sa direction.

La nef de St-François mesure 14,50 m de hauteur sous les clefs de voûte (Fig. 2). Elle est plus large que celle de Notre-Dame de Paris. Le chœur a gardé son caractère primitif. Il est court, composé d'une seule travée, il est limité côté nef par un arc triomphal imposant et des deux côtés par deux plans parallèles et une abside à quatre pans obliques formant un demi-octogone. Cette disposition est rare.

Ce monument se révèle être une œuvre unique par son aspect général et ses proportions harmonieuses.

Comme toutes les constructions du Moyen Age, elle a été édifiée par étapes, en maçonnerie. Ses dimensions et ses fondations la rendent très sensible aux déformations.

### Conditions géologiques et géotechniques

L'église St-François repose sur la grande moraine qui descend de Béthusy pour venir mourir à la Maladière en passant par Montbenon et Tivoli. C'est dans cette moraine que devaient être creusés les deux passages souterrains. La moraine repose sur la molasse à la cote 468 environ, côté passage Grotte, c'est-à-dire à 26 m au-dessous du niveau de la place. A l'extrémité ouest la molasse est un peu plus profonde et se situe à la cote 464 environ.

Le niveau des eaux souterraines se trouve à 15 m de profondeur environ au-dessous du niveau de la place, c'est-à-dire au voisinage de la cote 479. Des venues d'eau locales sont observées dans les sondages à partir de 8 ou 9 m de profondeur.

Les conditions géotechniques étaient donc favorables pour l'exécution des travaux surtout du fait que les excavations n'atteignaient pas le niveau des eaux souterraines.

### Méthode de construction des passages souterrains

L'exécution en pleine zone urbaine d'excavations importantes a conduit

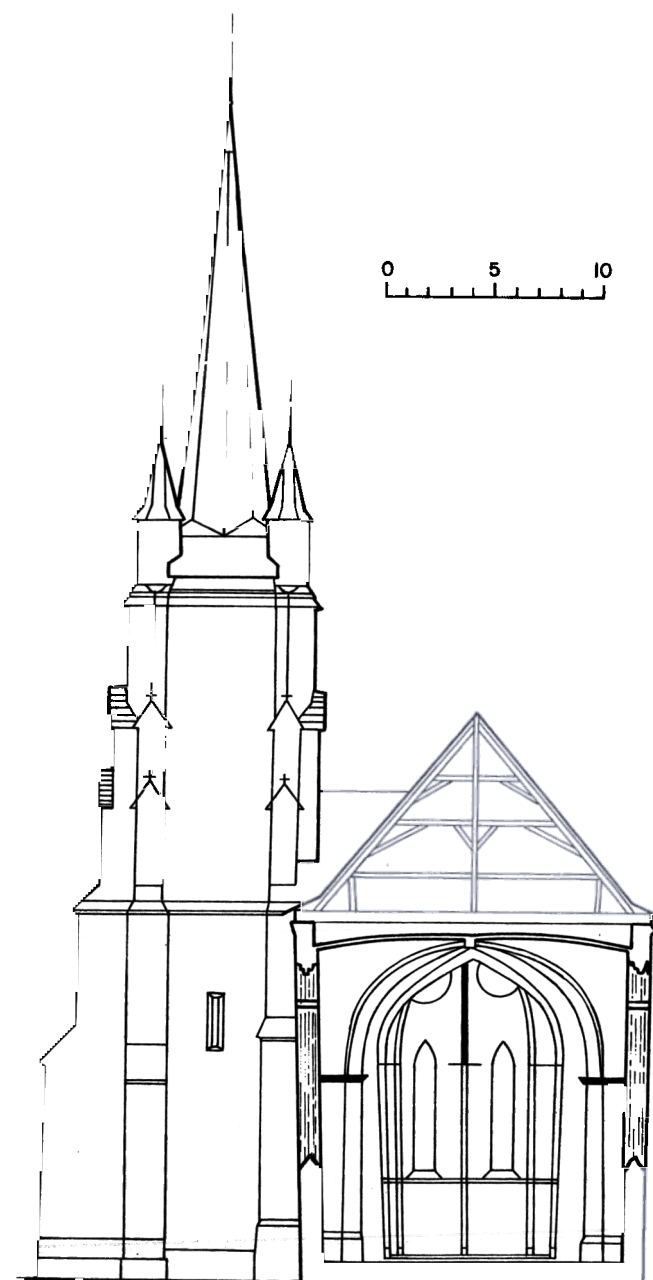


FIG. 2. Profil en travers de l'église. Remarquer surtout le faux-aplomb de la façade nord de la nef.

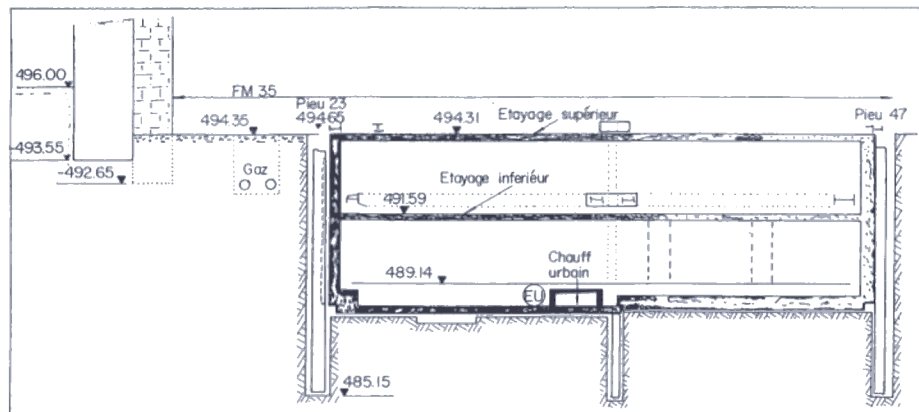


FIG. 3. Profil de la fouille et du passage 'Grotte'. Dispositif de mesure: inclinomètre du pieu 23; fils 35 et 36 du distomètre.

l'ingénieur à prévoir un étayage extrêmement rigide. Il est composé de parois berlinoises ceinturant les fouilles. Leur déplacement côté fouille est empêché par des étais sous forme de poutrelles métalliques soudées aux poutrelles de la paroi berlinoise (Fig. 3).

Les sols étant souvent grossiers, on pouvait craindre que leur cohésion soit localement très faible et que des éboulements se produisent accompagnés d'une décompression du terrain et de mouvements horizontaux et verticaux des massifs de terre compris entre la paroi et les fondations de l'église. Le dispositif de mesure devait donc permettre de déceler toute amorce de tels mouvements, ce qui aurait nécessité la mise en œuvre de mesures confortatives supplémentaires. Toutefois, les déplacements sont restés suffisamment faibles pour que de telles mesures ne soient pas nécessaires.

#### Dispositifs de mesure et résultats

Les mesures de déplacements sont de cinq types:

1. Déplacements verticaux par nivellements de précision de divers points de l'église et de bâtiments voisins.
2. Déformation de la région du chœur par mesure de déplacements relatifs de paires de points, au distomètre.
3. Variation de largeur de certaines fissures caractéristiques de l'église au comparateur.
4. Déformation de la paroi berlinoise par mesures à l'inclinomètre et au distomètre.

5. Déplacements horizontaux de points hauts des contreforts du chœur par visées au théodolite sur des cibles.

Toutes les mesures ont été faites par le service du cadastre de la ville à l'exception des mesures à l'inclinomètre qui ont été faites par le Laboratoire de géotechnique de l'EPFL.

#### Nivellement

Les repères ont été scellés à fin 1976 et le nivellement 'zéro' a été établi le 16 décembre 1976.

Dès le mois de juin 1977, un nivellement a été fait chaque mois jusqu'à la fin de 1978. En 1979, leur fréquence a été diminuée à un nivellement tous les trois mois en moyenne.

La Fig. 4 montre l'évolution au cours du temps des niveaux moyens pour les quatre catégories de points concernant l'église. Les chiffres figurant le long des courbes traitillées sont les numéros des points où les valeurs extrêmes ont été mesurées.

#### Déformations du chœur—mesures au distomètre

Rappelons que le distomètre ISETH (Institut für Strassen, Eisenbahn und Felsbau de l'EPFZ) permet de mesurer avec une précision de  $\pm 0,02$  mm les variations de distance entre deux points. L'appareil, muni d'un dynamomètre et d'un comparateur, est fixé à l'un des points par une vis à rotule. L'autre extrémité du distomètre est reliée au second point par un fil d'invar. Avant la lecture du comparateur, l'appareil est mis en tension, la charge du fil étant réglée à 78,48 Newton (8 kg). Cette méthode de mesure est décrite par K. Kovari.<sup>2</sup>

Les goudons de fixation des 26 premiers fils furent scellés en octobre 1977, huit fils complémentaires furent mis en place en mars 1978.

Entre le 19 octobre 1977 et fin 1978, 31 séries de mesures furent exécutées, soit deux par mois environ. En 1979, la fréquence des mesures fut réduite à une par mois environ (10 séries), les travaux de gros œuvre du passage Grotte ayant été achevés à fin 1978.

#### Variations de largeur des fissures

Les variations de largeur mesurées ont toutes été très faibles. (inférieures à 0,42 mm). Les ouvertures momentanées ont toujours été compensées par des fermetures équivalentes. Il s'agit donc manifestement d'effets dus aux variations de la température et de l'humidité de l'air. Les points d'observation étaient répartis dans tout l'édifice.

#### Déformation de la paroi berlinoise

Avant la mise en place des profilés métalliques des pieux 16, 23 et 39 (voir Fig. 3), un tube pour mesures à l'inclinomètre avait été fixé au profilé. Il a donc été ensuite pris dans le béton du pieu.

<sup>2</sup> Kovari, K. A., Gross, H., 'Messung von Verschiebungen und Deformationen mit dem Distometer ISETH'. Schweizerische Bauzeitung, XXX, Zurich 1974.



L'inclinomètre permet de mesurer l'inclinaison d'un tube souple par rapport à la verticale. L'appareil muni de deux paires de roulettes à ses extrémités est guidé par des rainures creusées à l'intérieur du tube. Deux paires de rainures disposées dans deux plans verticaux perpendiculaires permettent de mesurer les déplacements horizontaux du tube successivement dans ces deux plans et de déterminer par le calcul les déplacements horizontaux maximums et l'azimut de leur plan. La Fig. 5 montre l'allure du tube déformé, donc de ces trois pieux à diverses époques. Les déplacements horizontaux de la tête des pieux n° 23 et 47 (voir Fig. 3) ont également été mesurés au distomètre par rapport au contrefort du chœur.

#### Déplacements horizontaux mesurés au théodolite

Le dispositif mis en place pour ces mesures n'a pas permis d'obtenir une précision suffisante par rapport à la valeur des déplacements. Elles ont été abandonnées à fin 1978.

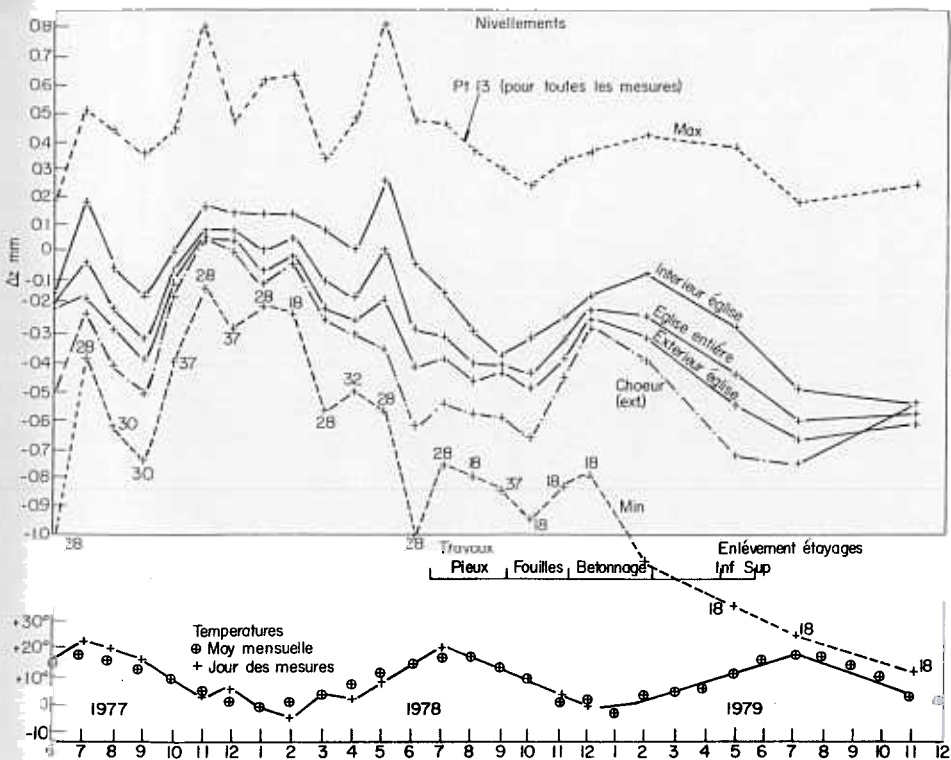


FIG. 4. Résultats des mesures de nivellement. Chaque courbe en trait plein donne la valeur moyenne du niveau pour un groupe de points.

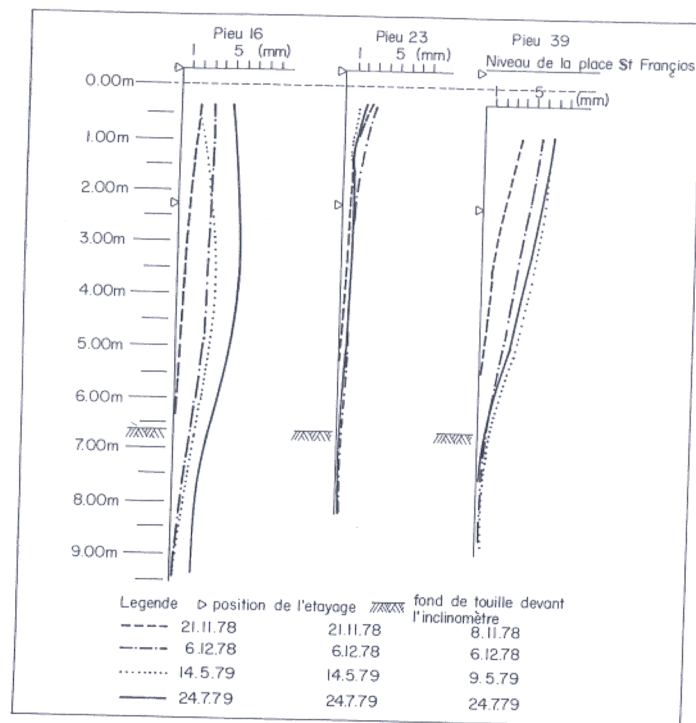


FIG. 5. Profils des tubes inclinométriques à diverses époques.

#### Commentaires des mesures

##### Déplacements verticaux de l'église

La Fig. 4 permet de dire ce qui suit. Les déplacements verticaux évoluent de manière saisonnière: d'octobre à février, il y a soulèvement de l'église de 0,3 mm en ordre de grandeur, de mars à septembre, il y a abaissement général. Ces deux périodes correspondent également à la montée, respectivement à l'abaissement des eaux souterraines dans les nappes phréatiques de Suisse romande.

##### Déformation du chœur

Le Tableau 1 montre que les déplacements relatifs maximums de chaque période notés (1) dans le tableau sont de l'ordre de 1 mm.

Les déformations de l'église ne peuvent être attribuées qu'aux variations de température et d'humidité de l'air intérieur et extérieur.

La Fig. 4 montre que les températures moyennes mensuelles de l'air

TABLEAU

Plan défini par les fils		Périodes de mesures			
		Fils	du 02.08.78	du 17.01.79	du 31.07.79
		No	au 17.01.79	au 31.07.79	au 05.12.79
Horizontal à 9 m du sol	1	-0.90	+1.35	-0.55	
	2	+0.32	-0.11	+0.00	
	3	-0.64	+0.84	-0.54	
	4	-0.15	-0.10	+0.08	
Chœur + nef	5	-0.81	+1.12	-0.70	
	6	-1.09	+1.38	-0.72	
Horizontal à 1,5 m du sol	12	-0.39	+0.67	-0.44	
	9	+0.71	-0.72	+0.57	
	18	-0.35	+0.62	-0.32	
	19	-0.65	+1.06	-0.75	
hœur	20	+0.07	+0.39	-0.35	
	21	-0.51	+0.84	-0.48	
Horizontal à 1,5 m du sol	9	+0.71	-0.72	+0.57	
	13	+0.89	-0.93	+0.64	
	17	-0.04	+0.09	+0.18	
	16	+0.27	-0.16	+0.32	
Nef	14	+0.80	-0.91	+0.79	
	8	+0.75	-0.63	+0.63	
Vertical- Fond du chœur	6	-1.09	+1.38	-0.72	
	12	-0.39	+0.67	-0.44	
	32	-1.12	+1.35	-0.96	
	33	-1.21	+1.37	-0.97	
	25	-1.16	+1.57	-0.96	
	24	-1.16	+1.87	-1.14	
Vertical- Arc triomphal	3	-0.64	+0.84	-0.54	
	9	+0.71	-0.72	+0.57	
	31	-0.79	+0.92	-0.64	
	30	-1.39	+1.50	-0.88	
	23	+0.82	-0.68	+0.51	
	22	-0.73	+1.29	-0.96	

extérieur sont voisines de zéro degré en décembre, janvier et février et qu'elles atteignent 18 à 20° en juillet.

Au contraire, le chauffage de l'église, qui se fait par le sol, maintient la température intérieure entre décembre et février à des valeurs supérieures en général à 15°, probablement même plus grandes au voisinage du sol.

#### Déplacements et déformations des parois de la fouille

La Fig. 5 montre les déplacements horizontaux et la déformation de la

paroi à diverses époques. Elle met bien en évidence la différence de déformation entre les pieux 16 et 39 situés au milieu d'une paroi rectiligne et celle du pieu 23 situé dans un angle. L'effet d'angle est très marqué, les déplacements restent inférieurs à 2 mm à partir de 1 m de profondeur. C'est le pieu le plus voisin de l'église.

#### Conclusions

Les très nombreuses mesures exécutées par nivellement (~840 points), au distomètre (~1330 mesures), à l'inclinomètre (62 profils) et au comparateur (~210 mesures de fissures) ont permis de déceler des déplacements avec une précision de quelques dixièmes de mm. Le dispositif mis en place pour les mesures au théodolite n'a pas permis d'atteindre cette précision.

Les déplacements dus aux seuls effets de la température et de l'humidité sur une construction telle que l'église St-François atteignent des valeurs de 1 à 2 mm au cours d'un cycle annuel. C'est dire que l'influence des travaux ne peut être mise en évidence que si l'on connaît à l'avance le comportement de l'édifice au cours d'une année au moins. En tout état de cause, on peut affirmer que la stabilité de l'église n'a pas été compromise par les travaux effectués à proximité.

#### Summary

The construction of the church of Saint Francois in Lausanne probably began about 1260, and it was almost complete in 1272. The choir then appeared as it does today, but the nave was then covered with a simple timber roof. The building was damaged in a fire in 1368 and it was partially reconstructed between 1383 and 1387. The nave walls were raised in height in order to allow a vault to be constructed on new internal buttresses. The bell tower is slightly later in date. After the suppression of religious houses in the sixteenth century the church became the property of the city of Lausanne, and during the eighteenth and nineteenth centuries the surrounding conventual buildings were gradually removed. Restoration of the building began in 1919, and in the 1930s the vault was reinforced; but the structure is weak, and the nave walls are out of plumb. This article describes how measures were taken to protect the building against further deformation that might have resulted from excavations in the vicinity. Because of the loose and coarse nature of the subsoil it was feared there might be a collapse of the ground between the church and the excavations, and so measuring devices were installed to monitor any changes that might suggest further

precautions were necessary. The article discusses the different possible movements and the types of monitoring used, and comments on the results. The conclusion of this precautionary exercise that provides a useful model for other similar situations was that the stability of this important church had not been compromised by the nearby excavations.

#### Resumen

La construcción de la Iglesia de San Francisco en Lausana empezó probablemente alrededor de 1260, y estaba ya casi terminada en 1272. El coro aparecía entonces igual que ahora, pero la nave estaba cubierta de un simple tejado de madera. El edificio fue dañado por un incendio en 1368 y se reconstruyó parcialmente entre 1383 y 1387. Se elevó la altura de los muros de la nave a fin de poder construir una bóveda sobre nuevos contrafuertes interiores. El campanario es ligeramente más tardío. Después de que se suprimieran los centros religiosos durante el siglo dieciséis, la iglesia pasó a manos de la ciudad de Lausana, y durante los siglos dieciocho y diecinueve se quitaron gradualmente los

edificios conventuales a su entorno. La restauración del edificio empezó en 1919, y durante la década de los treinta se reforzó la bóveda, pero la estructura es débil y los muros de la nave están fuera de vertical. Este artículo describe las medidas que se tomaron para proteger el edificio de mayor deformación que pudiera haber resultado de excavaciones efectuadas en sus cercanías. Debido a la naturaleza del subsuelo, flojo y basto, se temía que ocurriese un hundimiento entre la iglesia y las excavaciones; por lo cual se instalaron

instrumentos de registro para detectar cualquier cambio indicador de la posibilidad de tener que tomar mayores precauciones. El artículo estudia los diversos movimientos posibles, los tipos de control empleados, y comenta los resultados. La conclusión de este conjunto de precauciones, que constituyen un útil modelo para situaciones semejantes, fue la de que la estabilidad de esta importante iglesia no había sido comprometida por las cercanas excavaciones.