

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

Autor(en): **Recordon, Edouard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 19

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73980>

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.

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

par Edouard Recordon, Lausanne

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

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

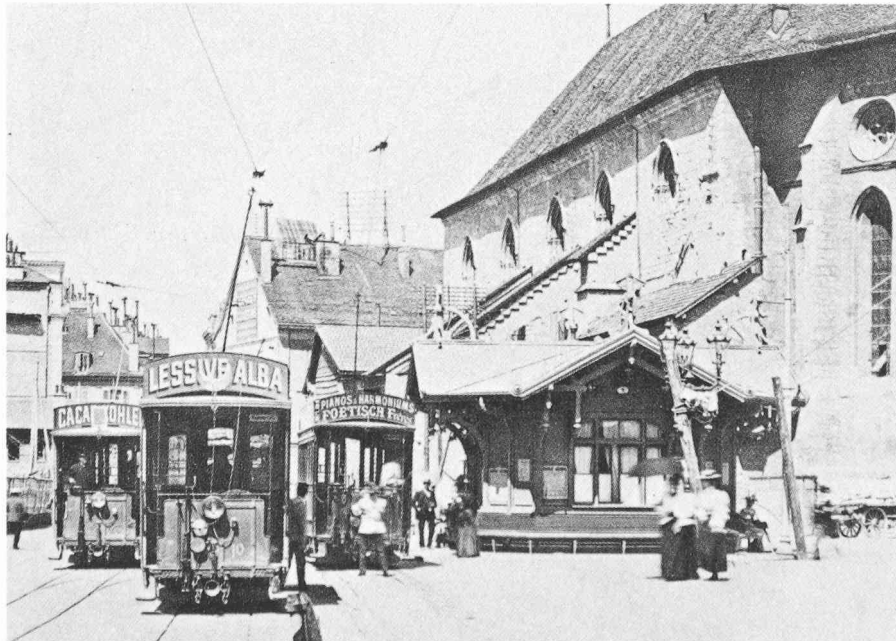
« Elle se dresse, sereine au centre de tant de bruits divers. Elle monte, gracieuse, se découpant contre le ciel. La beauté de son chœur contraste avec le caractère hétéroclite des bâtiments qui l'entourent. Il y a en elle tant d'harmonie qu'elle s'étend à toute la place. »

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.

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^e siècle, modifiée et agrandie à diverses époques, et quel a été son comportement durant les travaux.



L'église Saint-François a survécu sans trop de dommages à plusieurs aménagements de la place à laquelle elle a donné son nom. La vue ci-dessus montre l'état vers 1899, trois ans après l'apparition du tramway à Lausanne. L'église est le seul bâtiment figurant sur cette vue qui a duré jusqu'à nos jours. L'hôtel Gibbon, l'immeuble formant l'angle du Grand et du Petit-Chêne ainsi que la première poste (de gauche à droite sur la photographie) ont disparu.

(Illustration tirée de l'ouvrage Les tramways lausannois, édité par le Bureau vaudois d'adresses en 1977; compte-rendu dans le BTSR n° 6 du 16 mars 1978, p. 70.)

1. Histoire de la construction de l'église

Les renseignements historiques qui suivent sont extraits de l'ouvrage de Marcel Grandjean [1965].

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^e 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^e et XIII^e 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^e 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^e 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^e 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 exhaussés 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^e siècle ou des toutes premières du XV^e. 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^e 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 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.

La figure 2, tirée de l'ouvrage de M. Grandjean [1965], fait apparaître la fragilité de cette construction et les faux aplombs des façades.

2. 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. Comme le montre la figure 3, 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 sols constituant la moraine sont composés, selon les résultats de quatre sondages profonds ayant tous atteint la molasse (longueur totale 88 m dans

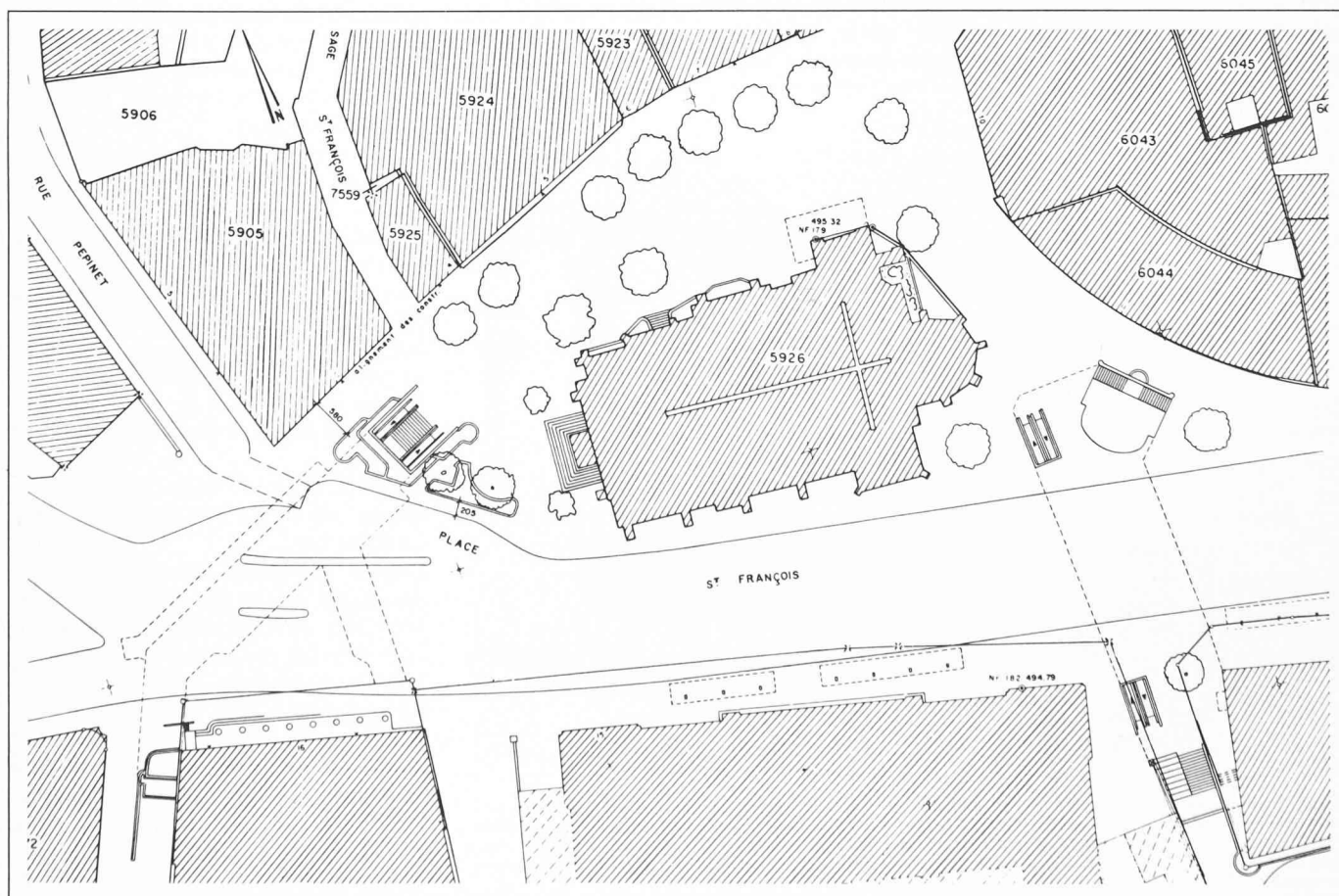


Fig. 1. — Situation des deux passages souterrains.

la moraine), de sables limoneux (58 %), de limons sableux (34 %) et de graviers sableux (8 %).

Les analyses granulométriques de neuf échantillons montrent que ces matériaux sont composés :

	Sables limoneux	Limons sableux
Eléments grossiers ($\varnothing > 0,06$ mm)	55 %	20 %
Eléments fins ($\varnothing < 0,06$ mm)	45 %	80 %
Classes U.S.C.S.	SM-ML/ SM/ML	CL/ML/ CL-ML

Les sols situés au-dessus du niveau des eaux souterraines, assise directe des fondations de l'église et dans lesquels devaient être excavés les passages souterrains, sont compacts, à faible teneur en eau. Leur résistance au cisaillement est élevée et ils sont peu déformables : leur indice de vide est faible. Il s'agit de bons sols de fondation.

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.

3. Méthode de construction des passages souterrains

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

La construction a débuté par l'exécution de forages de $\varnothing = 80$ cm (ou 63 cm) descendant à 10 m de profondeur environ, c'est-à-dire 3,50 m au-dessous du niveau le plus bas des excavations. Dans chaque forage fut placée la poutrelle métallique (HEB 450 ou 340) de la paroi qui fut enrobée de béton maigre. L'espacement entre les axes des poutrelles est de 2 m en général. Elles sont plus serrées dans la région voisine du chœur (1 m environ). Lors de l'excava-

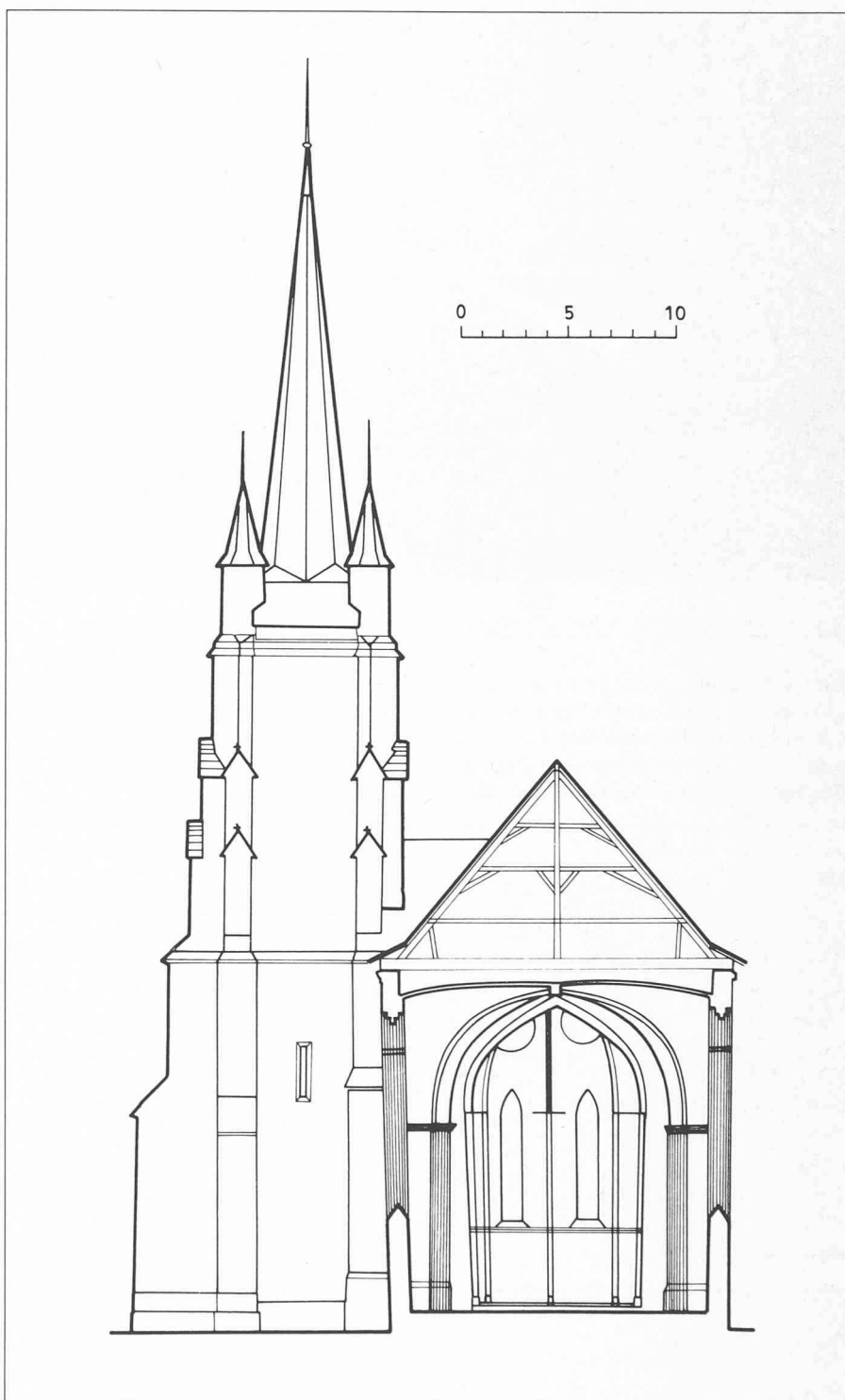


Fig. 2. — Profil en travers de l'église. Remarquer surtout le faux-aplomb de la façade nord de la nef.

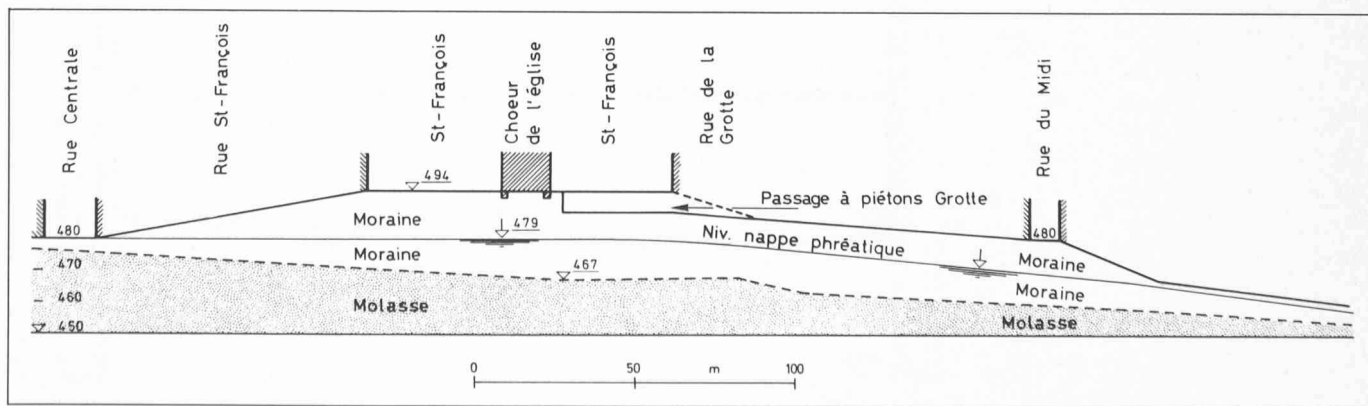


Fig. 3. — Profil de la moraine de Saint-François.

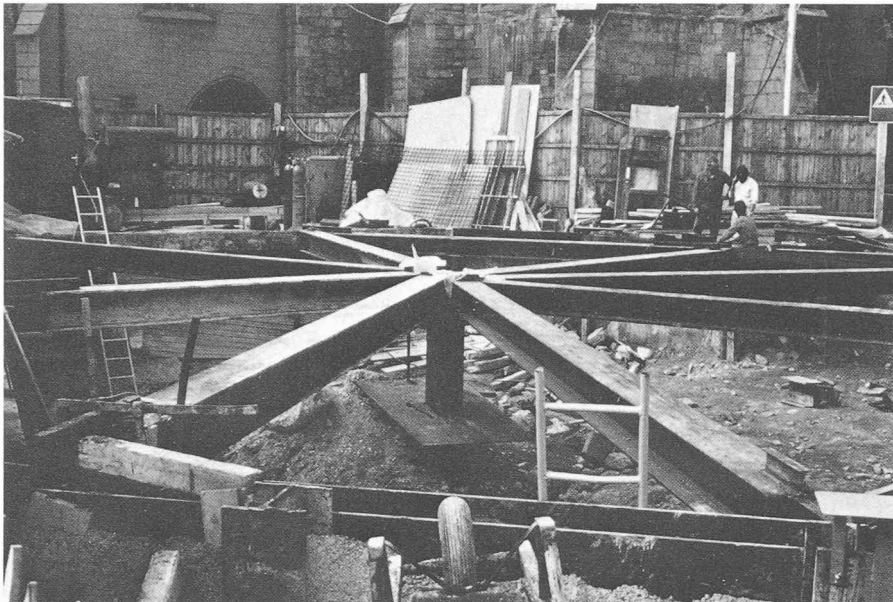


Fig. 4. — Etagage supérieur vu à peu près dans l'axe AA de la figure 6.

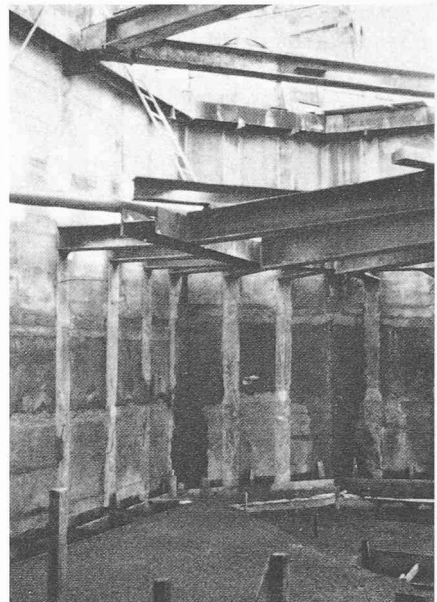


Fig. 5. — Paroi berlinoise et étagage dans l'angle côté chœur, pieu 23.

tion, les couchis en béton armé furent bétonnés sur place, contre terre, au fur et à mesure de l'avancement des excavations. La mise en place de l'étagage, comprenant deux niveaux d'étais dans

la région du chœur (fig. 4 et 5) suivit également l'excavation de très près. La figure 6 représente un profil en travers de la fouille dans la région du chœur.

Les sols étant souvent grossiers, on pouvait craindre que leur cohésion soit loca-

lement 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 détecter toute

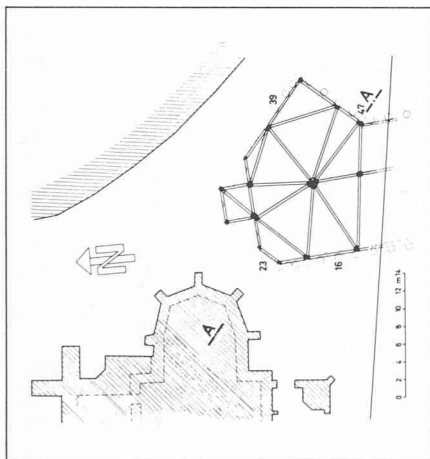


TABLEAU 1: Caractéristiques géotechniques moyennes

Sols		Sables limoneux		Limons sableux	
		Au-dessus	Au-dessous	Au-dessus	Au-dessous
Niveau par rapport à la nappe					
Nombre d'échantillons		4	8	3	1
Poids vol. app. hum.	γ [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	21.6	21.3	21.4	20.3
Teneur en eau	w [%]	11.8	14.5	18.0	22.4
Poids vol. app. sec	γ_d [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	19.3	18.6	18.1	16.6
Poids vol. des grains	γ_s [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	27.0	27.0	27.4	27.4
Porosité	n [%]	28.5	31.1	33.9	39.4
Indice de vide	e	0.399	0.451	0.513	0.650
Degré de saturation	S_r [%]	80.0	86.8	96.2	94.4
Angle de frottement int.	ϕ_u°	28-43		40	un seul éch.
Cohésion	C_u [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$]	10-40		66	

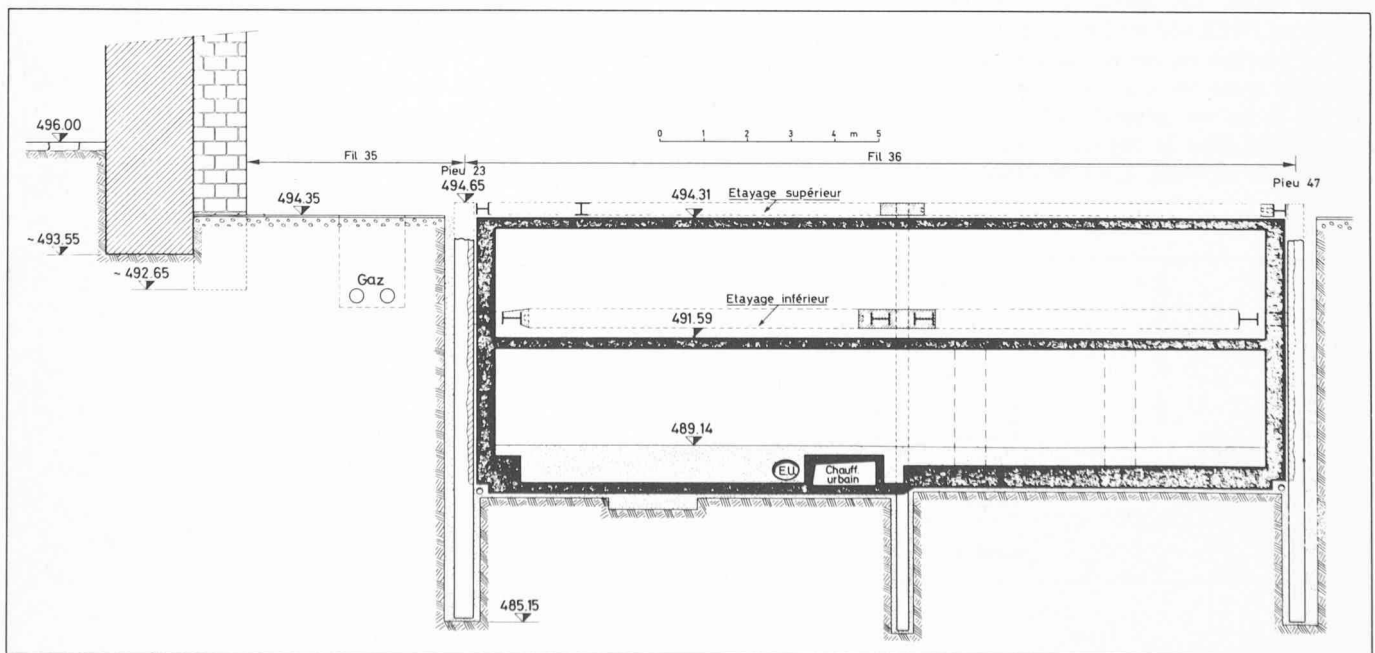


Fig. 6. — Profil de la fouille et du passage «Grotte». Dispositif de mesure: Inclinomètre du pieu 23; Fils 35 et 36 du distomètre.

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.

4. Dispositifs de mesure et résultats

Les mesures de déplacements sont de cinq types :

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

4.1 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 position des points et leurs numéros sont indiqués sur la figure 7.

La figure 8 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. Le zéro de chaque nivellement a été calculé à partir des mesures faites sur les 15 points contrôlés sur les bâtiments extérieurs, entourant la place.

4.2 Déformations du chœur — mesures au distomètre

Rappelons que le distomètre ISTEH (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, visibles sur la figure 9, 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 [1974].

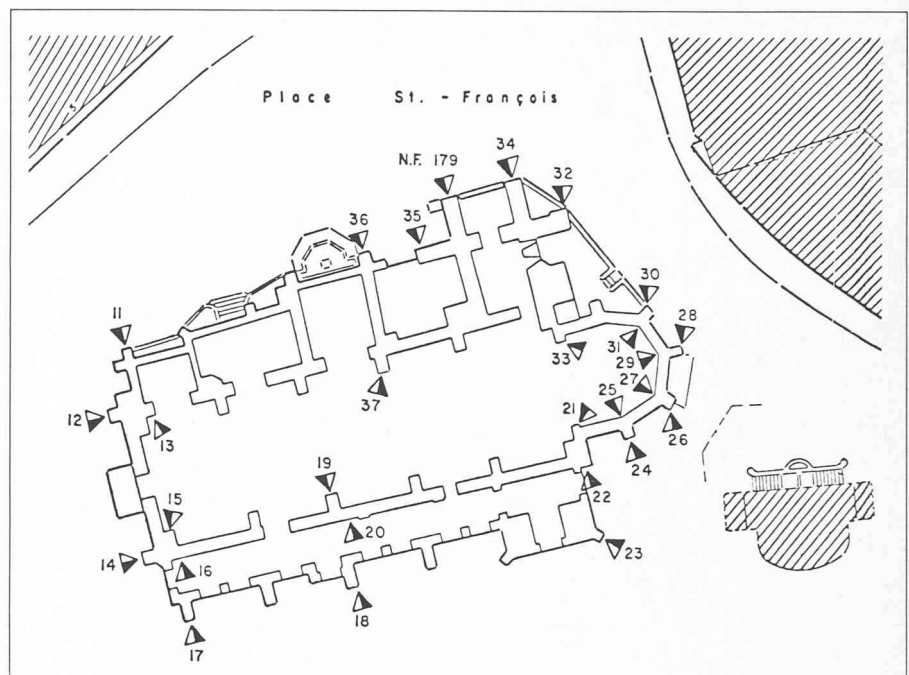


Fig. 7. — Position des points nivelés

TABLEAU 2 : Répartition des points du nivellement dans l'église

	Points No	Nombre de points
1) Eglise entière	11 à 37	27
2) Intérieur	13-15-19-21-25-27-29-31-33-37	10
3) Extérieur	11-12-14-16-17-18-20-22-23-24-26-28-30-32-34-35-36	17
4) Choeur (ext.)	22-24-26-28-30	5
5) Bâtiments autour de St François		15

Les goujons de fixation des 26 premiers fils furent scellés en octobre 1977, huit fils complémentaires furent mis en place en mars 1978 (fig. 11).

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.

Les fils placés à l'intérieur du chœur et de la nef, représentés sur la figure 10, sont les suivants :

- Fils n° 1 à 6, horizontaux dans un plan situé 9 m au-dessus du sol du chœur.
- Fils n° 7 à 21, horizontaux dans un plan situé 1,5 m au-dessus du sol du chœur.
- Fils n° 22 à 29, obliques, dans les quatre plans verticaux entourant le chœur et suivant deux diagonales.
- Fils n° 30 à 34, verticaux dans le chœur, le fil 34 étant à l'extérieur et les autres à l'intérieur.

La figure 10 montre les fils qui se trouvent dans les principaux plans ainsi que les déformations, telles qu'elles ont été

mesurées. Les traitillés représentent les distances raccourcies ou allongées au cours d'une période de refroidissement de l'air extérieur, du mois d'août au mois de décembre (déplacements fortement exagérés).

Le tableau 3 donne les valeurs des déplacements mesurés au cours de trois périodes de six mois, deux d'entre elles correspondant au refroidissement de l'air de l'été à l'hiver et la troisième au réchauffement entre l'hiver et l'été. Les signes « moins » correspondent à des raccourcissements et les « plus » à des allongements.

Rappelons que les travaux se sont déroulés approximativement de la manière suivante :

- Avril à sept. 78 Mise en place des pieux.
- Fin sept. à mi-déc. 78 Creusage de la fouille à proximité du chœur.
- Déc. 78 à mai 79 Bétonnage des murs, dalles et radier du passage Grotte.
- Mi-mai 79 Enlèvement étayage inférieur.
- Mi-juin 79 Enlèvement étayage supérieur.

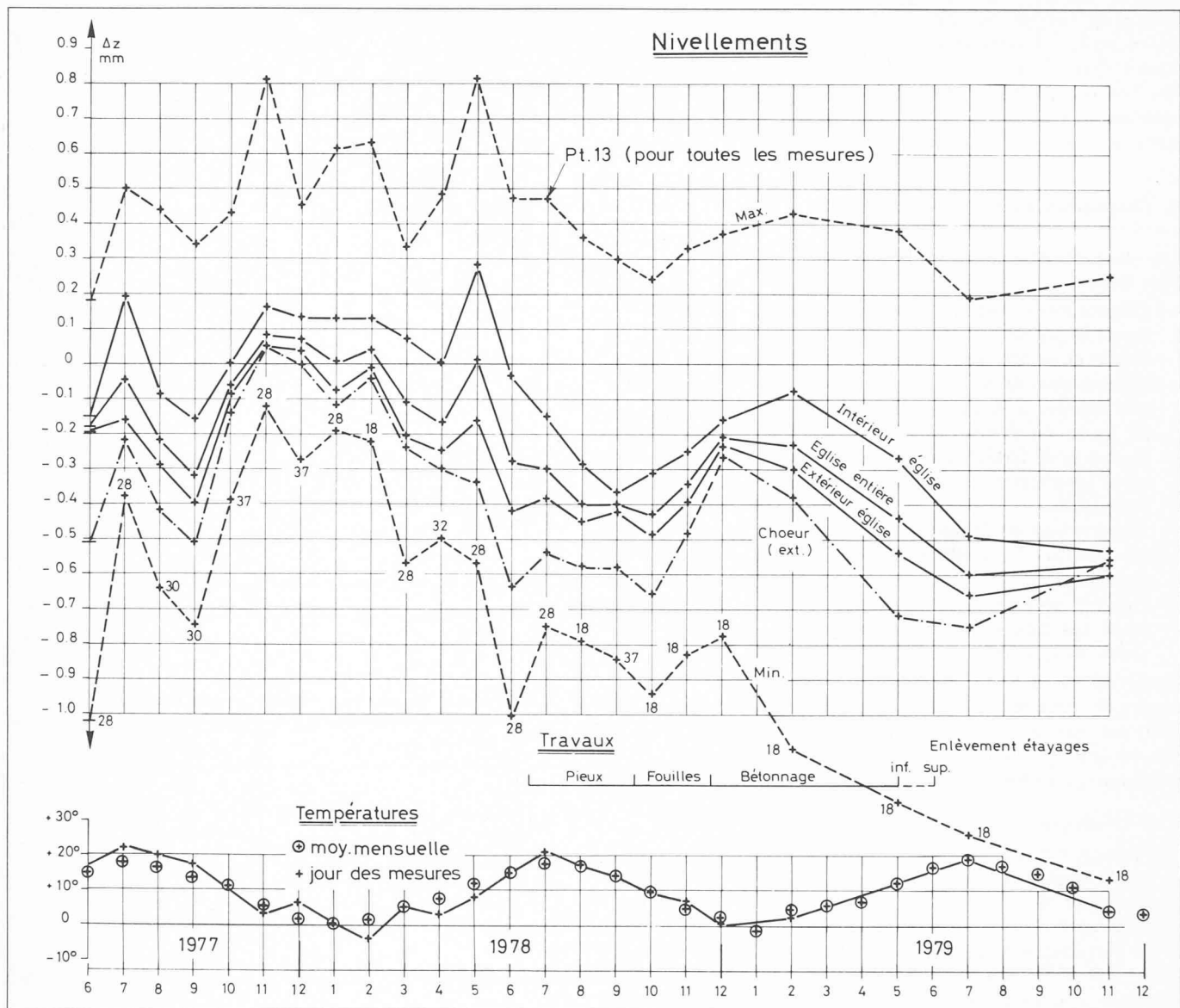


Fig. 8. — Résultats des mesures de nivellement. — Chaque courbe en trait plein donne la valeur moyenne du niveau pour un groupe de points.

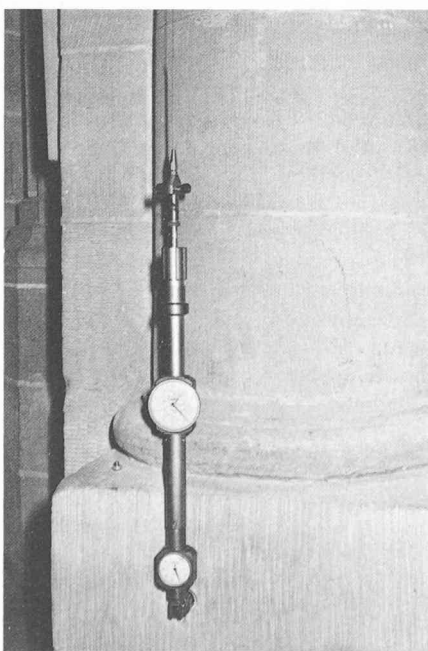


Fig. 9. — Vue du distomètre. De bas en haut: Fixation avec rotule dans le scellement, comparateur pour mesure du déplacement, comparateur du dynamomètre pour mesure de la tension dans le fil, fil d'invar.

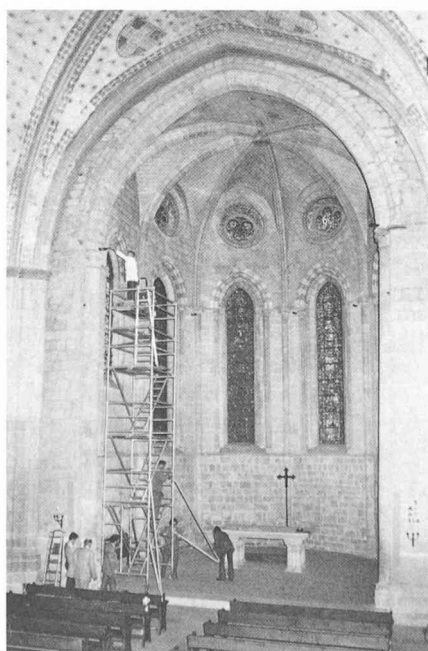


Fig. 11. — Mise en place des fils d'invar dans le plan horizontal supérieur du chœur.

4.3 Variations de largeur des fissures

Quatorze fissures ont été observées pendant quatorze mois. La variation de leur largeur a été mesurée au comparateur. Quatorze séries de mesures ont été faites entre le 9 novembre 1977 et le 6 décembre 1978. Après cette date, elles ont été arrêtées car rien ne se passait d'anormal et les travaux de creuse de la fouille étaient terminés. Les variations de largeur mesurées ont toutes été très faibles.

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. Le tableau 4 donne la valeur maximum de la variation de largeur des fissures.

4.4 Déformation de la paroi berlinoise

Avant la mise en place des profilés métalliques des pieux 16, 23 et 39 (voir fig. 6), un tube pour mesures à l'inclino-

TABLEAU 3

Plan défini par les fils	Périodes de mesures			
	Fils No	du 02.08.78 au 17.01.79	du 17.01.79 au 31.07.79	du 31.07.79 au 05.12.79
Horizontal à 9 m du sol (fig. 9A) Choeur + nef	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
	5	- 0.81	+ 1.12	- 0.70
	6	- 1.09	+ 1.38	- 0.72
Horizontal à 1,5 m du sol (fig. 9B) Choeur	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
	20	+ 0.07	+ 0.39	- 0.35
Horizontal à 1,5 m du sol (fig. 9C) Nef	21	- 0.51	+ 0.84	- 0.48
	9	+ 0.71	- 0.72	+ 0.57
	13	+ 0.89 ¹	- 0.93 ²	+ 0.64
	17	- 0.04	+ 0.09	+ 0.18
	16	+ 0.27	- 0.16	+ 0.32
	14	+ 0.80	- 0.91	+ 0.79 ¹
Vertical - Fond du choeur (fig. 9D)	8	+ 0.75	- 0.63	+ 0.63
	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
Vertical - Arc triomphal (fig. 9E)	25	- 1.16	+ 1.57	- 0.96
	24	- 1.16	+ 1.87 ¹	- 1.14 ²
	3	- 0.64	+ 0.84	- 0.54
	9	+ 0.71	- 0.72	+ 0.57
	31	- 0.79	+ 0.92	- 0.64
	30	- 1.39 ²	+ 1.50	- 0.88
	23	+ 0.82	- 0.68	+ 0.51
	22	- 0.73	+ 1.29	- 0.96

mètre avait été fixé au profilé. Il a donc été ensuite pris dans le béton du pieu. 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 (voir M. Peignard [1970]).

La figure 12 montre l'allure du tube déformé, donc de ces trois pieux à diverses époques.

Les déplacements horizontaux de la tête des pieux n^{os} 23 et 47 (voir fig. 6) ont

également été mesurés au distomètre par rapport au contrefort du chœur.

4.5 Déplacements horizontaux mesurés au théodolite

Il avait été prévu de mesurer les déplacements horizontaux de cibles fixées à l'extérieur, à une dizaine de mètres de hauteur, sur les murs du chœur. Les déplacements nord-sud devaient être déterminés à partir d'une station située à la promenade de Derrière-Bourg (longueur des visées : ~100 m) et les déplacements est-ouest à partir d'une station située au premier étage du bâtiment des postes (distance des visées : ~40 m).

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.

5. Commentaires des mesures

5.1 Déplacements verticaux de l'église

La figure 8 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. Bien que nous ne disposions pas d'observations des niveaux de la nappe à St-François au cours du temps, ces mouvements pourraient peut-être s'expliquer par les fluctuations du niveau de la nappe qui modifient les contraintes effectives dans la couche de moraine immergée. Pour que cette hypothèse puisse être vraie, il faudrait admettre que les points de référence du nivellement, situés sur le pourtour de la place, donc aux bords de la colline, subissent des déplacements verticaux plus petits que la zone de l'église, car les 0,3 mm mesurés sont des déplacements relatifs aux « points fixes ». Les minimums d'août-septembre décroissent si l'on passe de l'année 1977 à 1978 et 1979. Il en est de même des maximums de février si l'on passe de 1978 à 1979. L'abaissement est de l'ordre de 0,1 mm à 0,2 mm par année. Si l'on considère l'église entière, la moyenne de toutes les mesures effectuées de juillet 1977 à juin 1978 est de -0,08 mm, celle de juillet 1978 à juin 1979 est de -0,35 mm. Entre les deux années, on a donc également un abaissement de 0,27 mm. Cet abaissement du niveau général pourrait être expliqué par le creusage des deux passages souterrains. L'enlèvement des terres aurait ainsi causé un abaissement général de l'église de 2 à 3 dixièmes de millimètre. Les commentaires qui précèdent s'appliquent à n'importe quelle partie de l'église, comme le montre le parallélisme des courbes des déplacements verticaux.

5.2 Déformation du chœur

La figure 10 montre quelles sont ces déformations. Rappelons que le distomètre ne permet de mesurer que le déplacement relatif entre deux points. Pour pouvoir dessiner les points déplacés, joints par des lignes traitillées sur la figure, nous avons donc dû admettre que l'un des côtés se déformait symétriquement par rapport à l'axe du chœur. Il s'agit du fil 9 dans le plan horizontal à 1,5 m du sol du chœur ou dans le plan vertical de l'arc triomphal. Les déplacements de la figure correspondent aux périodes d'automne et d'hiver (refroidissement extérieur). L'allongement de la distance mesurée avec le « fil 9 » pour cette période est de 0,71 mm pour 78/79 et de 0,57 mm pour 79/80 alors que son raccourcissement en période de prin-

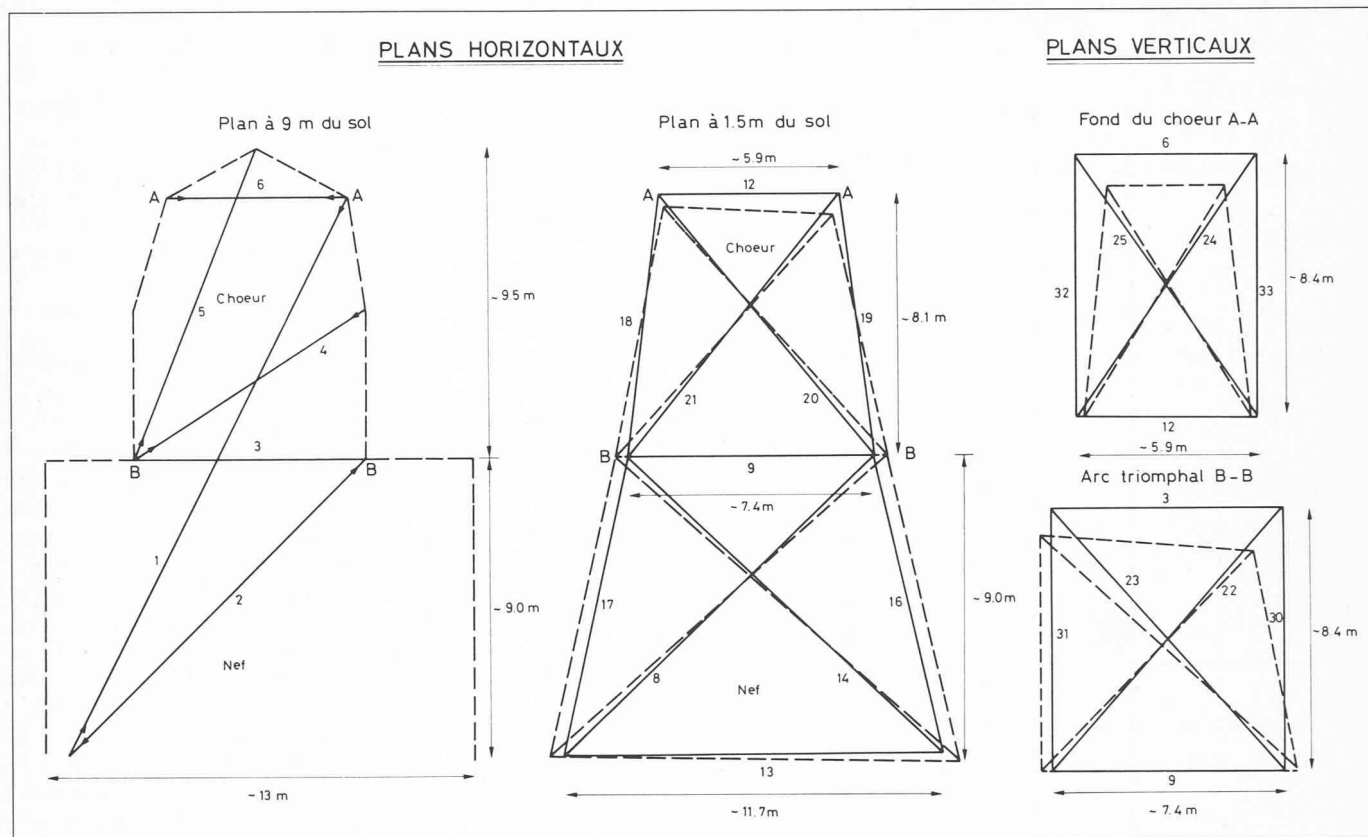


Fig. 10. — Déformation du chœur et de la première travée de la nef durant une période de refroidissement de l'air extérieur (août à décembre). Les valeurs des déplacements relatifs sont données dans le Tableau 3.

temps-été est de 0,72 mm (voir tableau 3). Le tableau 3 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 figure 8 montre que les températures moyennes mensuelles de l'air 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.

On constate que les régions de l'église fortement en contact avec l'extérieur, le chœur en particulier, se contractent en hiver et se dilatent en été (tableau 3, fond du chœur et plan horizontal à 1,5 m du sol). Il en est de même des distances verticales, fils 30, 31, 32, 33, situés aux quatre angles du chœur; les murs se contractent en hiver de 0,8 à 1,4 mm, pour une longueur entre points de mesure de 8,4 m environ. Ils se dilatent en été de la même quantité.

Au contraire, si l'on examine ce qui se passe dans le plan horizontal à 1,5 m de hauteur au-dessus du sol, dans la travée de la nef contiguë au chœur, les distances s'allongent en hiver et se raccourcissent en été. Toutefois, les déplacements restent inférieurs à 0,9 mm.

TABLEAU 4: Variation maximum de l'ouverture des fissures

Points No	Emplacement	Δe max	Date
1 et 2	Nef, partie ouest	0,217 mm	10.02.78
3 et 4	Fenêtres du chœur	0,293 mm	12.07.78
5 et 6	Nef, mur nord	0,341 mm	10.02.78
7, 8 et 9	Escaliers de la tour	0,113 mm	10.02.78
10	Combles, nord chœur	0,417 mm	10.02.78
11, 12, 13 et 14	Combles au-dessus du chœur	0,180 mm	10.02.78

5.3 Déplacements et déformations des parois de la fouille

La figure 12 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. La figure 13 montre les mêmes déplacements horizontaux, en fonction du temps, mais à deux niveaux seulement, et permet de les situer par rapport à l'avancement des travaux.

Elle montre de manière claire que les grands déplacements se sont produits pendant le creusage de la fouille. L'enlèvement de l'étais, qui n'est intervenu qu'après le bétonnage complet du passage souterrain, n'a eu qu'une influence négligeable.

Enfin, la figure 14 montre quel a été le déplacement horizontal de la tête des pieux 23 et 47 par rapport au contrefort le plus voisin, considéré comme fixe. Ces déplacements horizontaux ont été mesurés au distomètre.

Le fil 35 reliait le contrefort de l'église au pieu 23. Le diagramme inférieur de la figure 14 permet de comparer les déplacements mesurés au distomètre (trait plein) à ceux mesurés à l'inclinomètre (traitillé). Ces derniers sont atténués par rapport aux autres. Le fil du distomètre était fixé à l'extrémité supérieure de la poutrelle du pieu, alors que la mesure la plus haute faite à l'inclinomètre correspond à un niveau qui se situe 60 cm plus bas. Rappelons que le creusage de la fouille a pris fin à mi-décembre 1978.

La partie supérieure de la figure 14 montre les déplacements relatifs entre les têtes des pieux 23 et 47 mesurés au distomètre (trait plein). Ces deux têtes de pieux étant reliées en travers de la fouille par des poutrelles métalliques

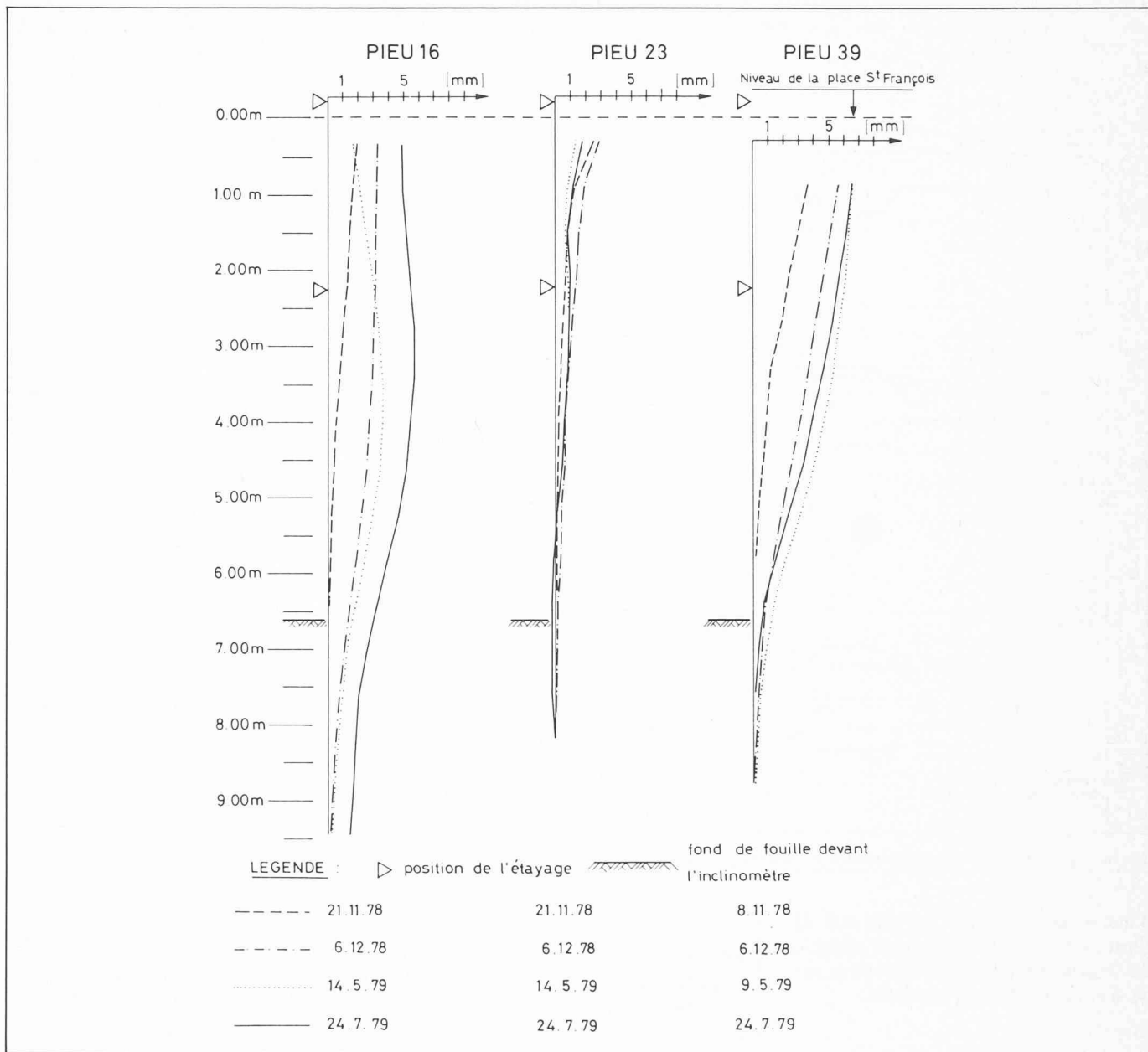


Fig. 12. — Profils des tubes inclinométriques à diverses époques.

soudées, il est normal que l'on retrouve ces déplacements en calculant la dilatation thermique des poutrelles.

6. 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

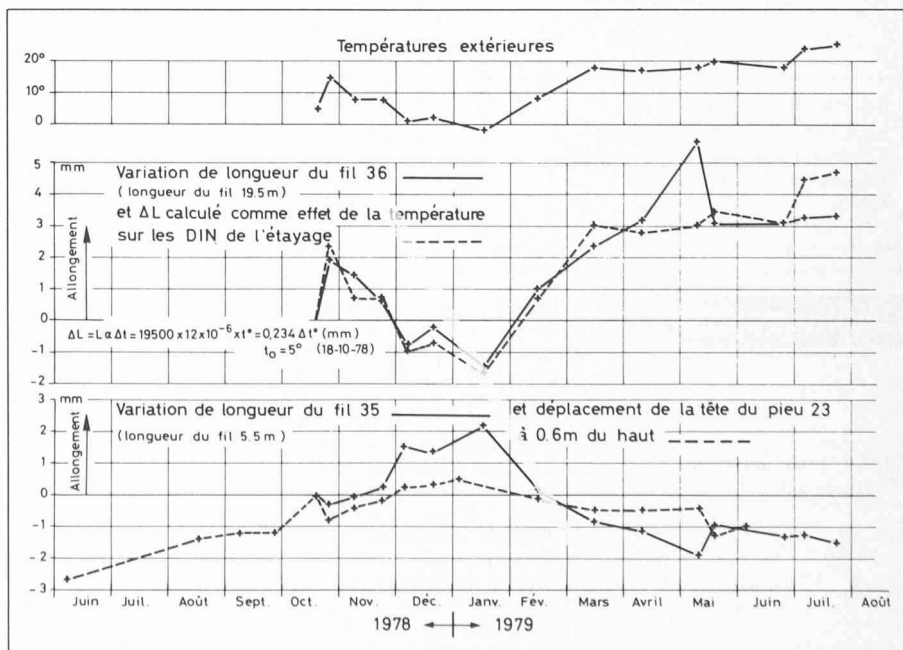


Fig. 14. — Déplacements du haut des pieux 23 et 47 par rapport à l'église. Voir profil de la figure 6.

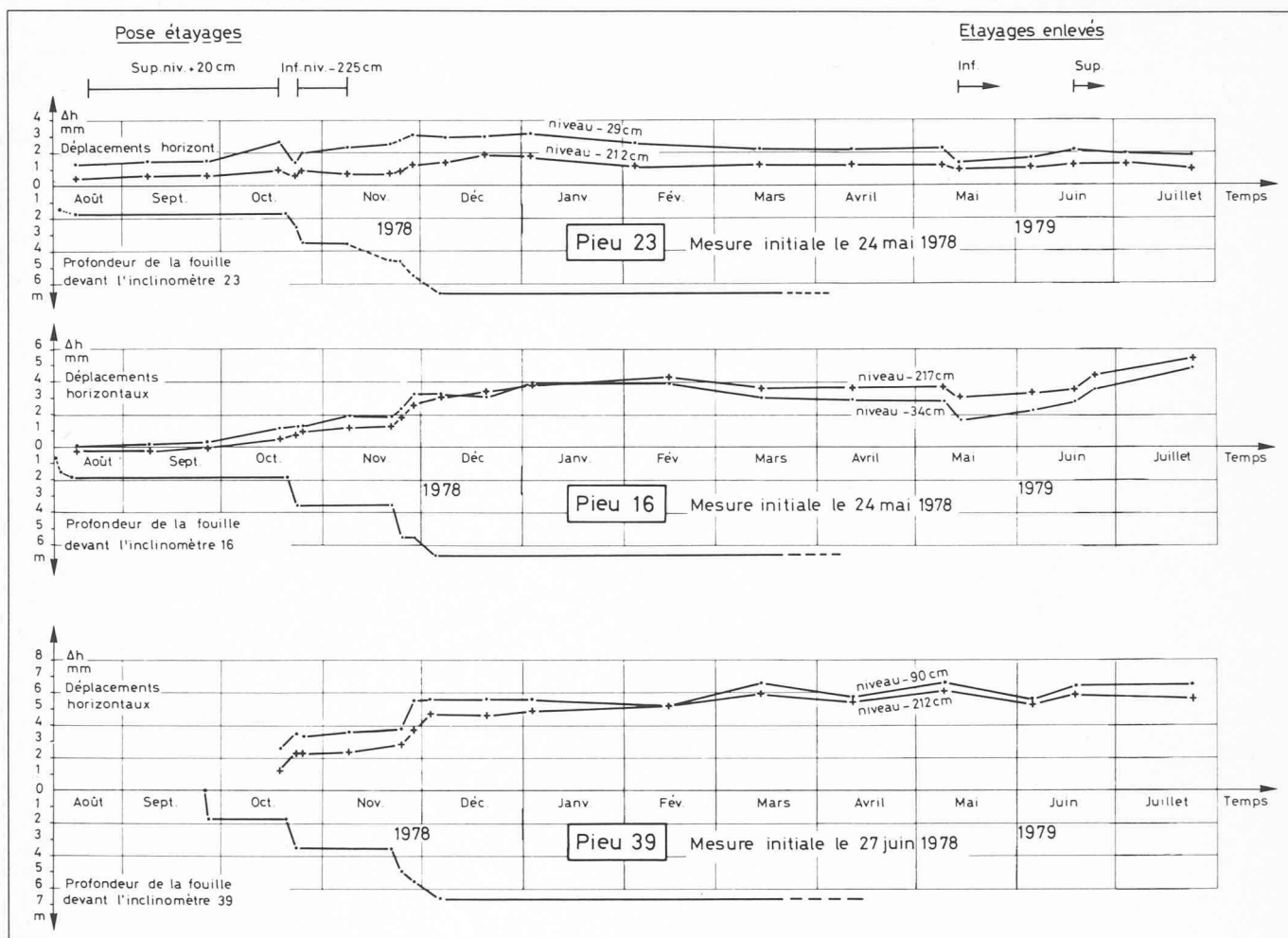


Fig. 13. — Déplacements horizontaux mesurés à l'inclinomètre, à deux niveaux, en fonction du temps et des travaux.

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.

Bibliographie

1. CHAUSSON H. : « Saint-François ». Editions du Griffon, Neuchâtel, 1970.
2. GRANDJEAN, M. : « Les monuments d'art et d'histoire du canton de Vaud ». Tome 1. La Ville de Lausanne. Editions Birkhäuser, Bâle, 1965.
3. Dr KOVARI, K. AMSTAD, prof. GROB, H. : « Messung von Verschiebungen und Deformationen mit dem Distometer ISETH ». Schweizerische Bauzeitung, Heft 36, Zurich, 1974.
4. PEIGNAND, M. : « Le point sur les inclinomètres ». Bulletin de liaison des laboratoires routiers n° 40, Paris, 1970.

Nous remercions les responsables et les collaborateurs du Service des routes et voirie et du Service du cadastre de la ville pour l'excellente collaboration qui s'est établie et pour le soin qu'ils ont apporté aux mesures. Nos remerciements vont également à MM. C. Jaccottet et P. Margot, architectes, membres de la commission fédérale des monuments historiques et à M. le pasteur J.-L. Bonjour, président de l'Association pour l'église Saint-François, pour tous les renseignements qu'ils nous ont donnés sur l'église, à M. J.-P. Gonthier, ingénieur auteur du projet, et au consortium d'entreprises. Nous remercions enfin M. P.-A. Bueche, ingénieur au Laboratoire de géotechnique de l'EPFL, qui a effectué les mesures à l'inclinomètre, qui a suivi les travaux et nous a secondé dans l'interprétation de l'ensemble des résultats.

Adresse de l'auteur :
 Edouard Recordon professeur
 Laboratoire de mécanique des sols
 Département de génie civil
 EPFL - Ecublens
 CH - 1015 Lausanne

Bibliographie

Sanfte Energietechnologie — Hoffnung oder Utopie

Par W. Seifritz. — Un vol. 14,5 x 20,5 cm, 116 pages, édition K. Thiernig, Munich 1980, tome 92 des « Thiernig Taschenbücher ».

La presse et la télévision se font de plus en plus l'écho de certaines oppositions au dévelop-

pement technologique et en particulier à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. On veut persuader le public que tous les problèmes actuels et futurs de la production d'énergie peuvent être résolus par des économies d'énergie d'une part, et par l'utilisation d'autre part des énergies dites « douces », en particulier l'énergie solaire et l'énergie éolienne, « conduisant à plus d'humanité, de liberté et de justice ». L'auteur montre clairement et avec une franchise désarmante que les espoirs ainsi éveillés, en ce qui concerne le potentiel et les effets de la seule utilisation

des sources d'énergie « douces », sont irréalisables pour des raisons tant physiques que techniques.

L'erreur fondamentale des anti-nucléaires fanatiques est de croire à la possibilité d'avoir recours uniquement aux énergies douces pour couvrir les besoins futurs de l'humanité sans diminuer son niveau de vie de façon catastrophique et la conduire fatalement au désastre.

L'exposé du professeur Seifritz permet d'apprécier objectivement les possibilités et les limites auxquelles les énergies de remplacement sont soumises,

limites qui montrent que dans un avenir prévisible à court et moyen terme la seule énergie disponible pour remplacer la plus grande partie des énergies fossiles en voie de disparition (charbon, pétrole et gaz naturel) est l'énergie nucléaire.

Tous ceux qui se soucient de l'avenir des nouvelles générations, que ce soit pour des motifs politiques, économiques, sociaux, éthiques ou religieux, seront reconnaissants à l'auteur d'avoir tenté de mettre un frein, à temps voulu, aux dangereuses extravagances des « idéologies vertes ».