



FIG. 1 et 2. — L'ÉGLISE SAINT-ANTOINE DE PADOUE À LIÈGE. Vue d'ensemble (d'après un dessin de R. Pennartz) et détail de la façade principale. L'édifice dépendait autrefois du Couvent des Frères Mineurs; l'église primitive, de style roman, remontait à l'année 1243. Le monument actuel date du XVII^e siècle, mais a été profondément remanié en 1867.



RESTAURATION DE L'ÉGLISE SAINT-ANTOINE DE PADOUE EN HORS-CHÂTEAU À LIÈGE

L'ÉGLISE Saint-Antoine faisait partie du couvent des Frères Mineurs, déjà établis à Liège au XIII^e siècle. L'église elle-même fut consacrée en 1244 et construite en style gothique première période. Elle subit des modifications profondes aux XVII^e et XVIII^e siècles pour l'adapter au goût du moment qui était au style Louis XIV : la façade principale, considérée à l'Ouest, et la façade latérale Sud reçurent un parement en petit granit, appliqué contre la maçonnerie initiale en grès houiller; les arcades intérieures de la nef centrale furent transformées en plein cintre, avec nouvelles bases et nouveaux chapiteaux appliqués aux colonnes en calcaire de Meuse; les voûtes furent transformées et décorées en plâtre : cette décoration Louis XV est considérée valable pour être conservée.

Mise en route des travaux de restauration

Le 16 décembre 1944, une bombe volante, tombée dans le voisinage immédiat, détruisit en partie le chœur et dégagea l'abside originale de la nef

latérale Sud. L'architecte Bourgault reconstruisit la partie du chœur avec voûte en bois en forme de bardeau mais avec fermes métalliques, ainsi que la tourelle d'accès aux combles. Cette intervention limitée ne voulait pas dire que le reste de l'édifice était en bon état : certaines colonnes accusaient un hors-plomb de plus de 10 cm pour 340 cm de hauteur, et le mur gouttereau en certains endroits se déformait de plus de 15 cm hors de la verticale pour une hauteur de 370 cm. Dès 1962, le Conseil de Fabrique de l'église chargeait l'architecte Tous-saint et l'ingénieur Bagon d'en étudier la consolidation, mais le mode d'intervention demeure indécis. Au début de 1964, un éclat de pierre important sauta à la face Sud de la colonne 2, par effet d'éclatement sous les charges verticales. L'action décidée des Services de Sécurité de la Ville et de l'Architecte-Directeur des Services d'Architecture de la Ville, feu M. Moutschen, permirent l'intervention immédiate de sauvetage (les témoins posés sautaient, on ne peut mieux!) appliquée d'abord aux deux premières colonnes 2 et 3, qui parais-

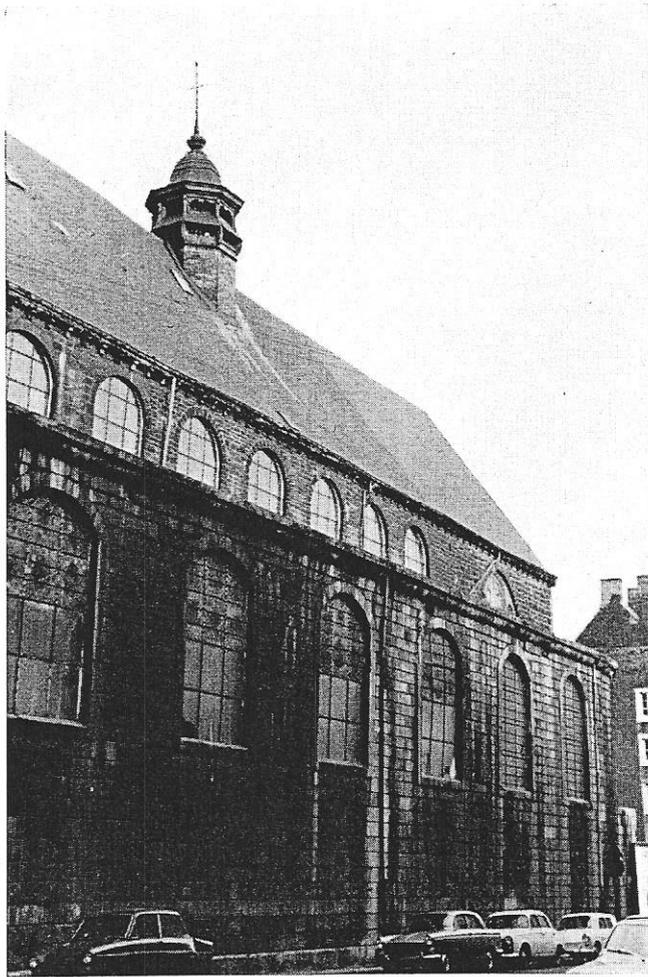


FIG. 3. — LA FAÇADE LATÉRALE SUD, RUE HORS-CHÂTEAU.

saient les plus menacées; l'entreprise de consolidation fut par la suite étendue aux autres colonnes, qui, à l'examen détaillé, ne se révélèrent guère

plus saines que les 2 et 3. Pour faire face à cette urgence, le Conseil de Fabrique adjoignit l'architecte Leclerc à l'architecte Toussaint et confia l'étude technique à l'ingénieur H. F. Joway. La Ville de Liège se substitua au Conseil de Fabrique pour le financement des travaux; ceux-ci furent confiés aux Entreprises Foulon. La durée des travaux est prévue de 600 jours ouvrables, avec achèvement probable prévu pour fin mars 1967.

Travaux préliminaires

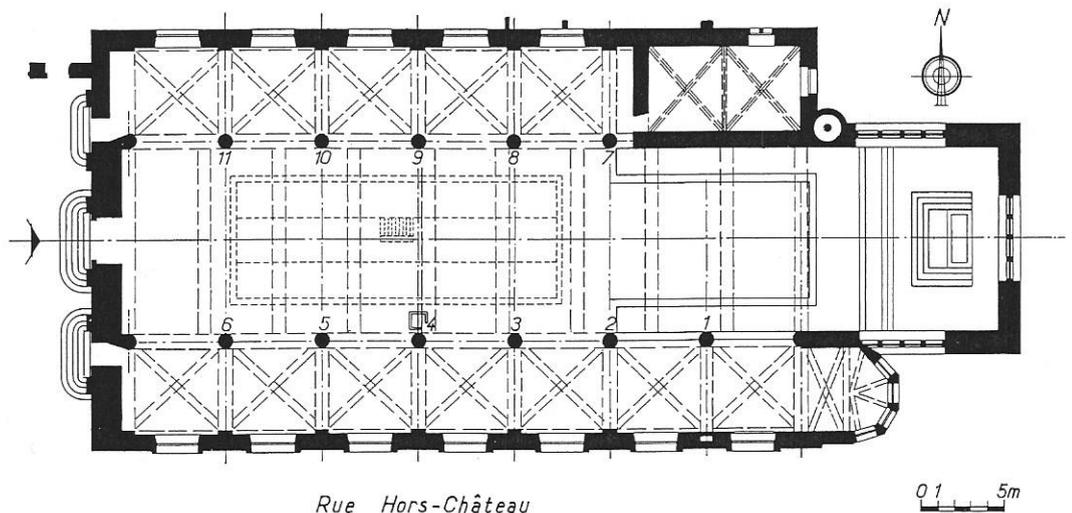
Des *étançonnements* tubulaires Travhydro furent posés à raison de huit étais de 6 à 9 tubes chacun par colonne et d'un étau en V à l'extérieur dans la rue Hors-Château au droit de chaque colonne; des tirants tubulaires furent posés dans la nef centrale à hauteur des chapiteaux et des fenêtres hautes, et les arcades des bas-côtés furent mises sur cintres. En fouillant le sol de l'église afin d'y asseoir les socles soutenant les étais des colonnes, on s'aperçut de la présence de tombes très nombreuses et à divers niveaux, transformant le sol en véritable « gruyère »; la partie centrale était même occupée par un caveau collectif de 20×7 m, découvert lors de l'exécution des semelles des anneaux d'assise.

Ces semelles sont exigées par la faible portance à escompter du sol et l'anneau s'opposerait aux vides éventuels sous ces semelles.

Etude du sous-sol

L'église Saint-Antoine, entièrement déversée vers la rue Hors-Château, est située dans la zone d'affleurement du *sous-sol* de la colline, constituée de schiste et de grès houiller; elle est comprise entre deux zones failleuses SO-NE distantes de 500 m (fig. 5). Cette zone est exempte d'influences

FIG. 4. — PLAN SCHÉMATIQUE DE L'ÉGLISE. C'est la zone Sud de l'édifice, vers la rue Hors-Château (que montre la photo ci-dessus), qui a fait l'objet des travaux de restauration décrits dans la présente note.



minières depuis au moins 1955, mais elle connaît des dégradations en dehors de ces influences, dont quinze situations au moins sont bien repérées. D'après cette étude du Professeur Calembert, l'église Saint-Antoine est donc située entre une zone sujette à caution à cause des influences naturelles et une zone défavorable à cause des influences minières. Les influences naturelles peuvent être en particulier ici le glissement lent (creep) mais inéluctable des dépôts de pente sur le bedrock houiller, et les déformations dans le limon de pente devenant visqueux et mouvant par vibrations répétées de la rue Hors-Château, très fréquentée par les transports urbains et les charrois lourds. Un sondage fait à proximité de l'église situe le schiste à -9 m du niveau de la rue, schiste sur lequel repose 20 cm de schiste altéré (illuvium) et 260 cm d'éboulis de pente. Le professeur Calembert a étudié des désordres analogues à la colline des Guillemins à Liège en 1949 et à Flémalle en 1960, et les a présentés à un Congrès de Rome en 1961.

Les causes probables de l'état précaire de l'église Saint-Antoine sont donc : l'état du sous-sol, qu'ont aggravé la suppression des entrants en bois de la voûte gothique en bardeau et l'absence de contre-forts. Les maçonneries formées de parties juxtaposées et retravaillées avec un mortier déficient, ne sont pas non plus un élément favorable.

Etude de la stabilité de l'édifice

L'étude de l'équilibre transversal d'une demi-travée Sud type (la moitié Nord est moins déformée), soit par l'épure de Méry, soit par les équations d'équilibre d'un arc encastré, a donné comme résultat principal :

- poussée horizontale de la voûte centrale et de la charpente 3,6 t, pouvant être reprise par un tirant en acier Ni-Cr \varnothing 14 mm précontraint 1,8 t;
- tensions au niveau des seuils des fenêtres hautes : tensions actuelles, tendance au soulèvement 0,96 kg/cm² et compression 6,3 kg/cm²; tensions après la pose des tirants, compressions de 0,99 et 4,3 kg/cm², avec résultante ramenée de 24 à 10 cm du centre;

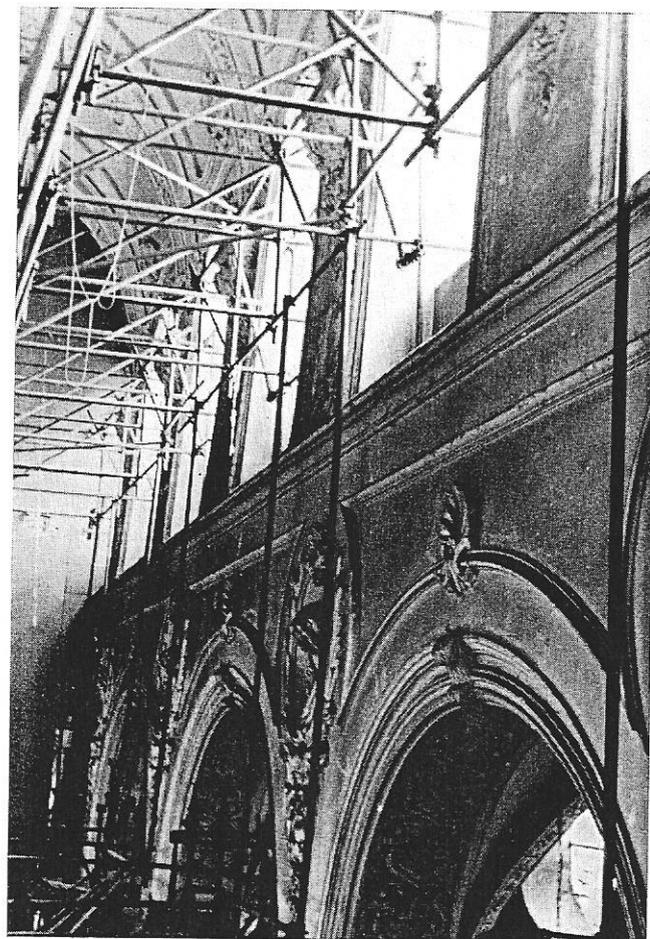


FIG. 6. — VUE INTÉRIEURE DE LA ZONE SUD, PENDANT LES TRAVAUX DE RESTAURATION, montrant les tirants tubulaires provisoires à la nef haute et les premiers étaçonnements des têtes de colonne.

- aux retombées de la voûte inférieure : poussée horizontale de 3,9 t, à reprendre par un tirant précontraint \varnothing 14 mm en acier Ni-Cr;

— à la tête du fût de colonne; résultante initiale passant à 25 cm du centre et provoquant des tensions supérieures à 150 kg/cm² (confirmées par l'éclatement du tambour en calcaire de Meuse constaté en 1964 et faisant augmenter le hors-plomb de 1,2 cm entre 1962 et 1964); résultante ramenée à 10 cm du centre par l'action du tirant supérieur et provoquant alors des compressions de 51 kg/cm²;

— à la base du fût de colonne : même avec le tirant supérieur la résultante de 139 t passe encore à 12 cm du centre, ce qui produit une tendance au soulèvement de 10,2 kg/cm² et une compression de 63,4 kg/cm².

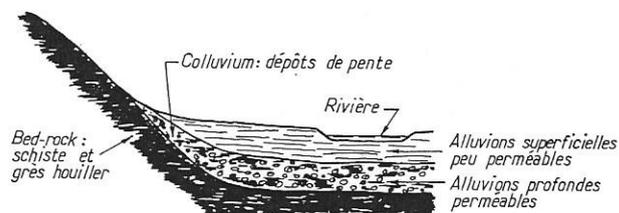


FIG. 5. — COUPE SCHÉMATIQUE DU SOUS-SOL.

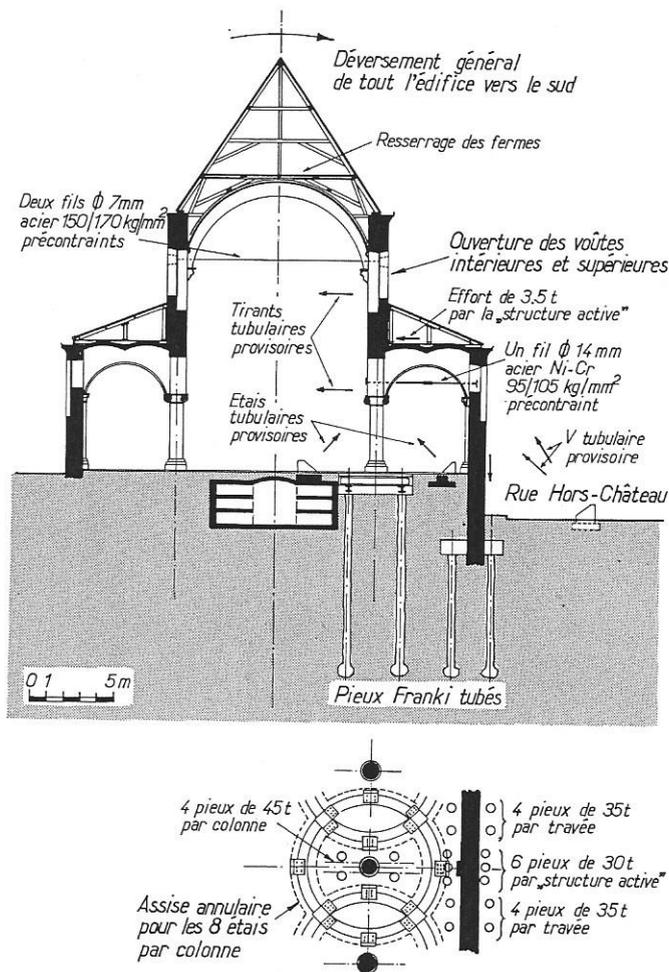


FIG. 7 et 8. — COUPE VERTICALE TRANSVERSALE ET PLAN DE DÉTAIL PARTIEL montrant les dispositions adoptées pour les travaux de restauration et de reprise en sous-œuvre.

Dispositions prises

a) EN SUPERSTRUCTURE

Pour réduire ces tensions, une force de 3,5 t horizontale est introduite un peu au-dessus des voûtes inférieures, et la base des colonnes sera ripée à la verticale de la tête de colonne : ainsi, de parti délibéré, aucune démolition n'est opérée : démonter un document, même avec soin, est le détruire ! et l'ensemble est stabilisé convenablement.

La force horizontale de 3,5 t est réalisée par la structure active : deux colonnes en béton armé de 60 x 60 cm sont encastrées dans les murs des bas-côtés de part et d'autre de chaque pilastre ; ces colonnes s'enracinent dans des semelles de fondation et montent jusqu'aux assises des charpentes métalliques des toitures des bas-côtés. Le poinçon de ces charpentes situé contre le mur gouttereau

est laissé initialement libre et une semelle verticale en béton lui assure une assise répartie et moulée sur la maçonnerie. L'entrait est solidarisé aux extrémités des colonnes encastrées, puis prenant réaction sur cet entrait, un vérin applique le poinçon contre la maçonnerie avec une force de 3,5 t ; le poinçon est ensuite fixé par soudure dans cette position forcée. Au moment de l'action du vérin, la maçonnerie s'est déplacée de 8 mm.

b) POUR LES FONDATIONS

Les fondations devaient nécessairement descendre jusqu'au schiste, en raison de la nature du sous-sol. La reprise des colonnes devait se faire initialement par pieux Méga, pieux de la firme Franki à fonder au vérin pour éviter toute trépidation de battage en raison de l'état précaire de l'édifice (cette précarité demeurait telle que les ouvriers occupés à monter les tirants tubulaires ne voulaient plus continuer leur montage pendant l'exécution des pieux !). Les pieux étaient prévus de 30 t à cause des limites de la réaction possible au fonçage. Mais à la suite de la découverte du grand caveau collectif dans la nef centrale, les encombrements disponibles furent notablement réduits, de même dans la rue Hors-Château, à cause des nombreuses canalisations ; au lieu des six pieux prévus, on ne pouvait plus disposer que quatre pieux ; la force de ceux-ci devait être de 40 t au moins, la réaction de fonçage de 80 t, soit 160 t pour la paire obligée de pieux : ce que ne pouvait supporter la situation présente. Heureusement, l'exécution des pieux pour les semelles des structures actives permit d'envisager la réalisation de pieux tubés d'au moins 40 t, à l'aide d'une petite sonnette, ne donnant aucune trépidation préjudiciable, comme l'a montré l'état inchangé pendant ces opérations des divers témoins et des mesures des aplombs spécialement soignés. Chaque colonne est donc reprise par quatre pieux tubés de 45 t. Chaque semelle de la structure active est aussi reprise par six pieux tubés de 30 t : ce qui permet le moment de 140 tm nécessaire à la poussée supérieure de 3,5 t. De manière à réduire le coût et à ne pas devoir reprendre entièrement la maçonnerie des bas-côtés en sous-œuvre, maçonnerie descendant d'ailleurs profondément, les semelles des structures actives ont été réalisées en deux parties, de part et d'autre du mur et réunies par deux bretelles traversant le mur ; de même, les fondations de ces maçonneries des bas-côtés ne sont pas réalisées directement sous le mur, comme prévu initialement, mais à l'aide de deux bretelles par travées, reposant sur pieux tubés d'au moins 35 t (fig. 7 et 8).

Exécution des travaux

Le ripage des bases de colonne avait été prévu se faire en suspendant le fût aux étaçonnements à l'aide d'un collier enserrant la base, ouvrant ensuite le joint supérieur par sciage, puis basculement de la base jusqu'à la verticale de la tête.

L'opération fut conduite autrement pour éviter la reprise totale en sous-œuvre : pour faciliter aussi un ferrailage du béton armé, très dense et dans un espace réduit, deux I 60 PN sont disposées sous chaque colonne; des ronds \varnothing 20 mm sont disposés transversalement sur ces I et reçoivent la charge de la colonne par l'intermédiaire d'une plaque de répartition; ces opérations ont été faites par moitié. Il a suffi d'appliquer une force d'environ une tonne à l'aide d'un vérin, prenant appui contre un socle d'étaçonnement, pour déplacer

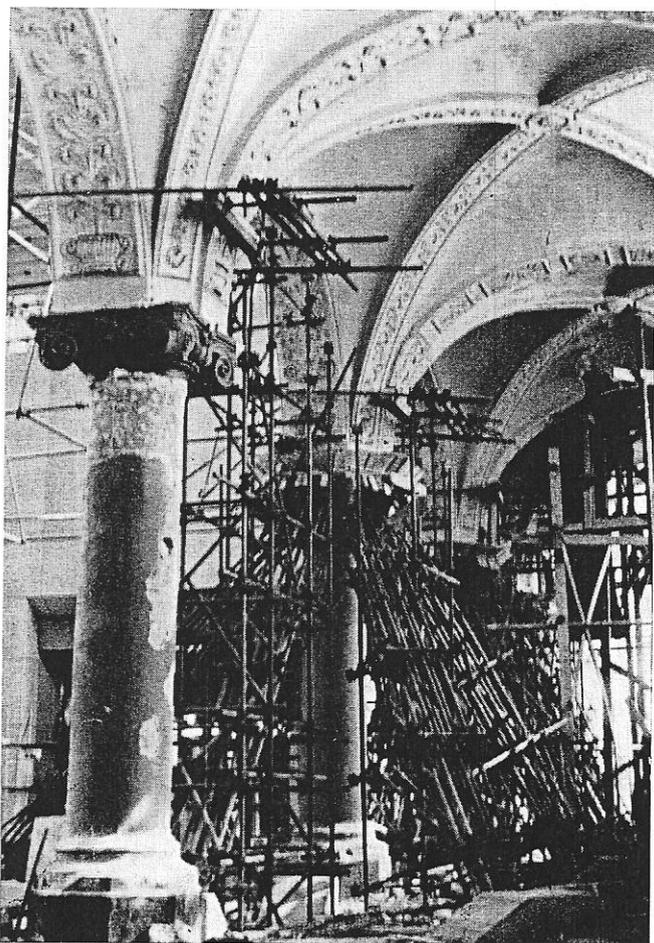


FIG. 9. — VUE INTÉRIEURE DE LA ZONE SUD-OUEST PENDANT LES TRAVAUX DE RESTAURATION, montrant les étais des deux premières colonnes, les tirants tubulaires provisoires à la tête des colonnes et les blindages des arcs. Détails des stucs Louis XV.

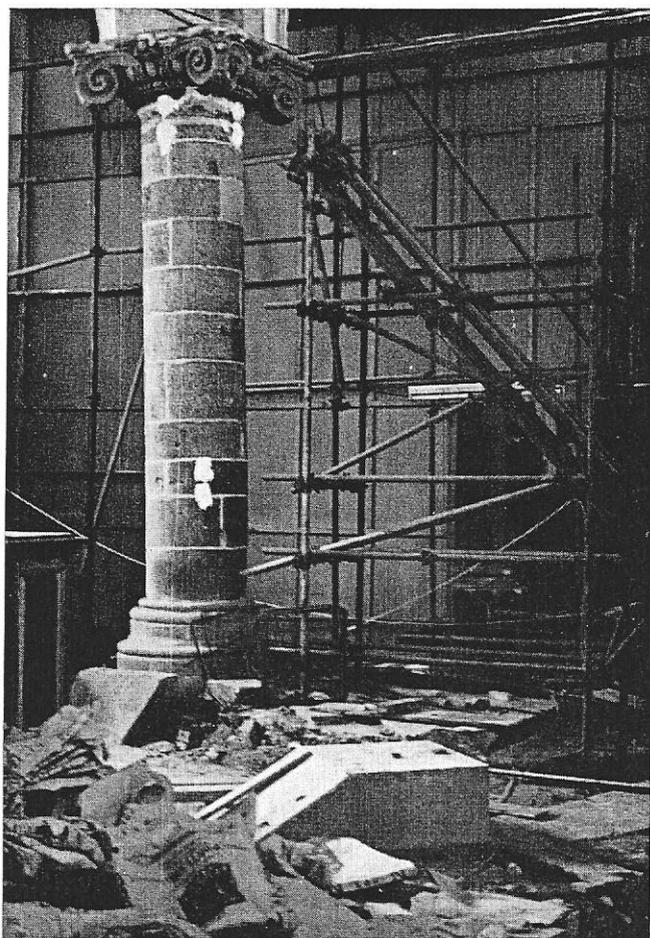


FIG. 10. — DÉTAIL D'UNE COLONNE, immédiatement avant étaçonnement : notez les témoins avec lamelle en verre, un étai tubulaire, les socles destinés aux caissons d'étais. Le chapiteau en plâtre sera démonté.

en toute douceur la base de chaque colonne d'environ 10 cm. L'ensemble poutrelles, rouleaux et plaque est ensuite noyé à refus par du béton fin.

Ne disposant pas en temps utile de barres en acier Ni-Cr à haute résistance de longueur suffisante, mais aussi pour réaliser l'opération d'une manière plus aisément contrôlable, les tirants supérieurs ont été réalisés chacun par une paire très discrète de fils \varnothing 7 mm en acier à 150/170 kg/mm², mis en tension par le procédé BBRV, à l'aide d'un vérin aisément contrôlé et bloqué par un écrou d'ancrage. L'ancrage mobile est noyé dans de la graisse avant de maçonner le trou, de manière à pouvoir reprendre éventuellement les opérations de précontrainte ou pouvoir vérifier les tensions. Au moment de l'application de la précontrainte de 1,8 t, les maçonneries au droit des fenêtres hautes se sont rapprochées d'environ 10 cm.

Les prescriptions initiales de consolidation prévoyaient le *renforcement des maçonneries* des murs gouttereaux à l'aide d'*injections*. L'injection devait se faire avec une suspension de ciment, rendue encore plus facilement injectable par les microbulles d'air occlus et provoquées par la réaction d'une poudre d'aluminium fournissant de l'hydrogène en présence d'une base. A cela, objection doit être faite de voir la résistance mécanique fortement réduite, et les pressions d'injections nécessaires au coulis de ciment aéré risquer de disloquer encore plus la maçonnerie. Dans la régénération d'une pile au barrage de Port-Mort sur la Basse-Seine, les pressions de 25 kg/cm² en fin d'injection n'ont été possibles qu'après avoir établi des renforcements horizontaux à l'aide de tirants Ø 40 mm. Les injections pouvaient se réaliser avec une solution de silicate de soude, dont la floculation dans un sable peut donner des résistances permanentes de 20 à 80 kg/cm²; cette floculation est contrôlée et réglée par un réactif organique, par exemple l'acétate d'éthyle. Des résines organiques, du type polyester, acrylique, époxy... donnent aussi des solutions, injectables comme de l'eau, auxquelles la polymérisation, sans retrait, confère des résistances supérieures à celle du béton. Ces injections, tant au silicate de soude qu'aux résines organiques, ont été pratiquement abandonnées : le quadrillage des forages d'injection aurait dû avoir des mailles de 20 à 25 cm de côté, à cause de la porosité très réduite de la maçonnerie en grès houiller : ce qui aurait mis cette maçonnerie dans un état encore moins satisfaisant. On s'est contenté de vider profondément les joints et de les renourrir à l'aide d'un mortier bâtarde au sable rude.

La *charpente en bois très ancienne de la nef centrale* est constituée par des fermes très rapprochées, recevant directement les voligeages des versants. Les assemblages souvent disjoints, ont été renforcés par des goussets métalliques exerçant prise par des crampons en acier spécial; les efforts à l'ouverture des fermes sont repris par des tirants.

Les opérations de consolidation ont pratiquement été terminées dans le courant du mois de juin 1966; l'ensemble aura coûté environ une douzaine de millions de francs belges. Depuis ce moment, *les travaux continuent* pour le raffermissement des voûtes inférieures en renourrissant convenablement leurs joints par un mortier bâtarde au sable rude. La décoration en stuc sera complétée ou refaite par motifs moulés d'après des originaux; la bourre différente de celle des motifs originaux permettra aux spécialistes d'en faire

départager l'origine. Les stucages constituant la voûte de la nef centrale ne paraissent plus former corps avec les arceaux de la charpente : cette voûte devra donc être inspectée à l'aide d'un échafaudage roulant, dont les déplacements ne seront possibles qu'après réfection du carrelage; la voûte sera ensuite consolidée. Le carrelage des nefs latérales et du chœur ne sera remis en place qu'après la pose du chauffage central à réaliser par une vingtaine de ventilo-convecteurs d'une puissance de 11 ou 16 th chacun et alimentés par des tuyauteries enrobées dans le sol, à partir de la chaudière maintenue sous pression d'azote.

Les subsides actuels ne permettent pas d'envisager l'isolement total *du caveau collectif* contre l'humidité du sol. Pourtant cette humidité transpire au travers des enduits et délave les inscriptions. La solution envisagée pour le moment est de pourvoir l'entrée d'une fermeture étanche, genre sas, de manière à conserver l'atmosphère du caveau en équilibre hygrométrique. L'accès au caveau doit être strictement limité.

Conclusions

Ces travaux de restauration de l'église Saint-Antoine, comme d'autres de la même équipe, ceux de l'église Saint-Jacques à Liège, par exemple, mettent en évidence les points suivants :

- nécessité de fournir comme base aux études techniques, des plans et des documents beaucoup plus circonstanciés que de coutume;

- grand soin à apporter aux travaux de fouille : intérêt des découvertes laissées en place (niveaux de remblais, superposition d'objet...); fouilles particulières à faire par horizon et avec des moyens minutieux;

- optique particulière présidant aux solutions : respect du « document », solution sans plagiat, ni mimétisme;

- main-d'œuvre habituée aux pratiques artisanales anciennes, spécialisation désirée aussi bien pour les auteurs de projet que pour les entreprises;

- techniques relevant plus d'un art de l'ingénieur que d'une science;

- dans un édifice particulier, nécessité de se rendre compte avec soin de son « tempérament » structural, des différentes phases des interventions successives, des diverses périodes de construction, même en s'aidant d'une loupe et d'un scalpel!

H. F. JOWAY,
Ingénieur Civil,
Directeur de l'Institut Supérieur
de Restauration
de Monuments Historiques.