

# Pignon sud de transept

Cathédrale de Lausanne

ETAT DE VAUD  
DEPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS  
DE L'AMENAGEMENT ET DES TRANSPORTS  
SERVICE DES BATIMENTS

## ORGANISATION ET PROCEDURES

Par sa décision du 7 septembre 1994, le Conseil d'Etat accorde un crédit d'ouvrage pour la restauration du pignon sud de transept de la Cathédrale de Lausanne.

La commission parlementaire, composée des personnes suivantes:

M. P.-E. MONOD, rapporteur	Mme M. KELLER
Mme M. ALLEMAND	Mme F. OSTERMANN
Mme F. BERGER	M. A. POLLI
M. P. CORNAMUSAZ	M. J.-C. ROSSET
M. G. FIAUX	M. J.-F. THONNET
Mme A.-L. MONNIER	M. C. TILLEU

accompagnée de:

M. D. SCHMUTZ, chef du Département des Travaux Publics, de l'Aménagement et des Transports

M. J.-P. DRESCO, architecte cantonal, chef du Service des Bâtiments

M. C. AMSLER, architecte mandataire

Mme F. BEGUIN, secrétaire au Service des Bâtiments  
rapporte favorablement au Grand Conseil.

Le grand Conseil du canton de Vaud accorde, par décret du 15 novembre 1994, un crédit d'ouvrage de Fr. 5'890'000.- pour la restauration des infrastructures et de l'élévation du pignon sud de transept de la Cathédrale.

La cathédrale de Lausanne, par sa valeur historique, culturelle et architecturale, et par la complexité des interventions qu'elle demande, représente l'un des chantiers les plus prestigieux du canton.

La phase de restauration qui s'achève a contribué à compléter la connaissance désormais substantielle que l'on a du monument.

Impressionnante par sa technicité, qui permet d'agir sur la statique des éléments en renforçant la structure maçonnée du pignon sud, cette restauration prend également une dimension particulière avec la délicate intervention qu'elle comporte sur l'ensemble unique formé par les vitraux de la rose.

L'immense chantier de la cathédrale, presque voué à être perpétuel, fait la démonstration d'une technique et d'une science de l'ingénieur au service de la préservation du patrimoine.

Les deux volets de ce projet - restauration des vitraux et consolidation des fondations du monument - ont peut-être une visibilité différente pour le visiteur, mais ils sont en réalité indissociables. En effet, les liens qui unissent les éléments de la cathédrale et donnent à l'édifice sa cohérence et son harmonie imposent aussi le rythme et l'ordre de priorité des travaux à entreprendre.

Si nous pouvons assurer ce suivi, c'est grâce aux recherches inlassablement menées par des équipes pluridisciplinaires, qui ont permis d'établir un plan global de restauration de la cathédrale de Lausanne.

C'est ainsi qu'une phase de travaux peut s'achever, préparant efficacement la suivante.

Le Conseil d'Etat tient à remercier chaleureusement tous les artisans qui ont contribué à faire de ce chantier si particulier une réussite.

Daniel SCHMUTZ  
Conseiller d'Etat,  
Chef du département des travaux publics,  
de l'aménagement et des transports.

## INTERVENANTS

### ETAT DE VAUD

#### COMMISSION TECHNIQUE

Jean-Pierre DRESCO	architecte de l'Etat de Vaud, chef du Service des bâtiments, président de la Commission Technique de la cathédrale de Lausanne
Christian PILLOUD	chef du Service des affaires universitaires et des Cultes
Prof. Peter KURMANN	historien de l'art, Pieterlen
Patrik DEVANTHERY	architecte EPF, Lausanne

#### EXPERTS FEDERAUX

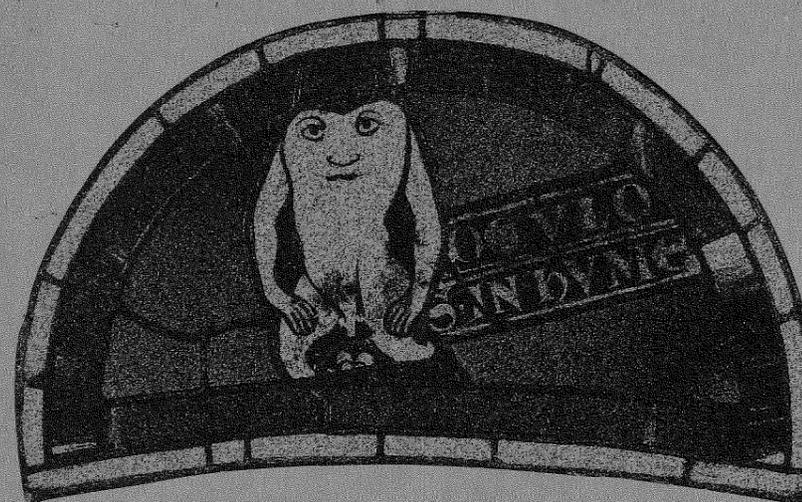
Dr. André MEYER	président de la Commission Fédérale des Monuments Historiques
Bernard ZUMTHOR	membre de la Commission Fédérale des Monuments Historiques

#### EXPERTS CANTONAUX

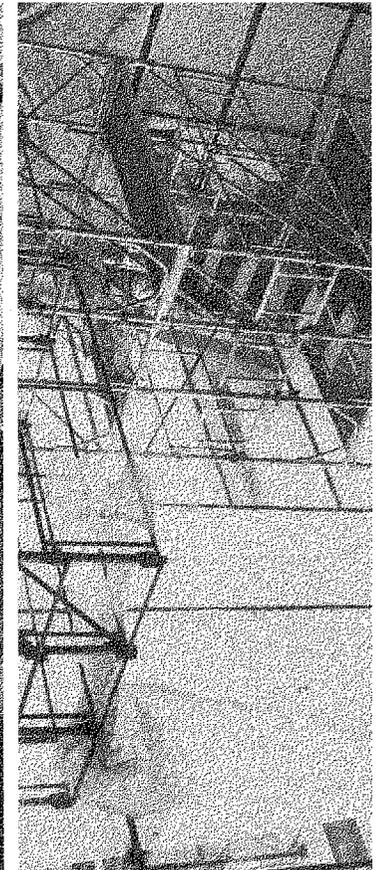
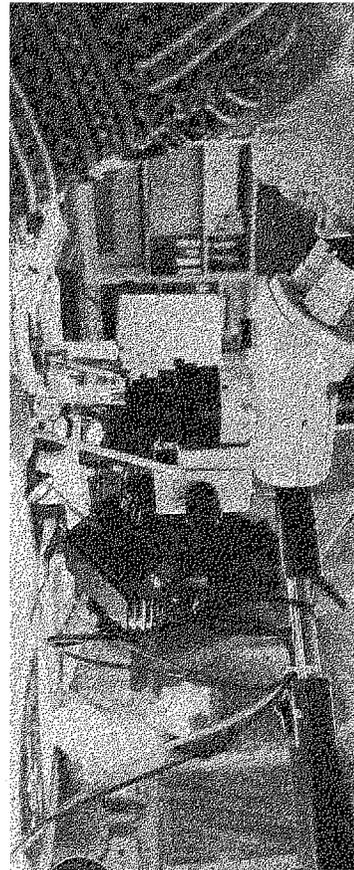
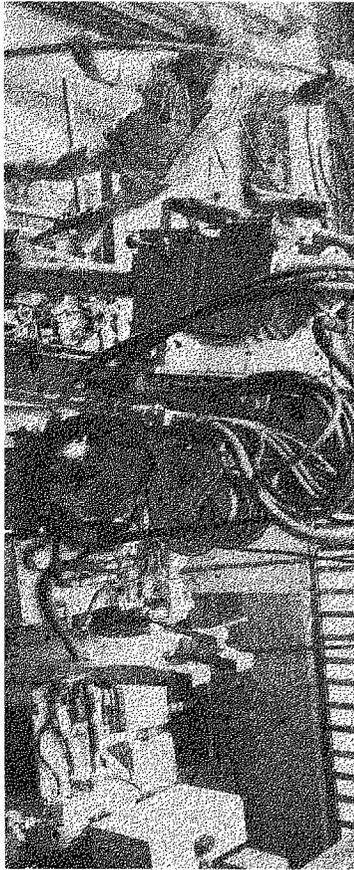
Eric TEYSSEIRE	conservateur cantonal, section des Monuments historiques
Denis WEIDMANN	archéologue cantonal, section des Monuments historiques

#### EXPERTS CONSULTANTS

Génie civil	Michel BANCON, ingénieur-conseil, expert DETP Paris	
Matériaux pierreux	Vinicio FURLAN, directeur du LCP-EPFL	Lausanne
	Jean-Didier MERTZ, directeur de l'Expert Center pour la conservation du patrimoine bâti	Lausanne
	Claude FELIX, géologue, Expert Center	
	Pierre LACHAT, expert des Monuments historiques	Belmont-sur-Lausanne
Vitreaux	H. MARSCHNER, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege	Munich
	Isabelle PALLOT-FROSSART, historienne, directeur du Laboratoire de recherche des Monuments Historiques	Champs-sur-Marne
	Renato PANCELLA, chimiste, Expert Center	Lausanne
	François SCHWEIZER, chimiste, conservateur, laboratoire du Musée d'Art et d'Histoire	Genève
<b>MANDATAIRES:</b>		
Architecte	Christophe AMSLER, architecte EPF	Lausanne
Collaborateur	Antoine GRAF	
Ingénieurs civils	Hunziker et Marmier SA, Jean-Pierre MARMIER	Lausanne
	Meuwly, Soutter et Kälin SA, Jean-François KÄLIN	Lausanne
Ingénieur électricien	Betelec SA, Dominique CHAMBETTAZ	Lausanne
Ingénieur CVC	Sorane SA, Dominique CHUARD	Lausanne



Ingénieur géomètre	Jean-Claude GASSER	Prilly
	Brigitte KURMANN, historienne de l'art	Pieterlen
Historiens	Claire HUGUENIN, historienne des monuments, archiviste de la Cathédrale	Monnaz
	Atelier d'Archéologie Médiévale, Werner STOECKLI	Moudon
Archéologue	Centre suisse de recherches et d'information sur le vitrail	Romont
	Stéphane TRUMPLER, historien de l'art, directeur	
Conservation des Vitreaux	Michel DELANOË,	
	Stefania GENTILE	
	Margrit SCHNEUWLI	
	Julian JAMES	
Conservation des parements	Werner WEYHE	
	ateliers Crephart, A.-Th. Hermanès, restaurateur	Le Lignon



# Pignon sud de transept

Cathédrale de Lausanne

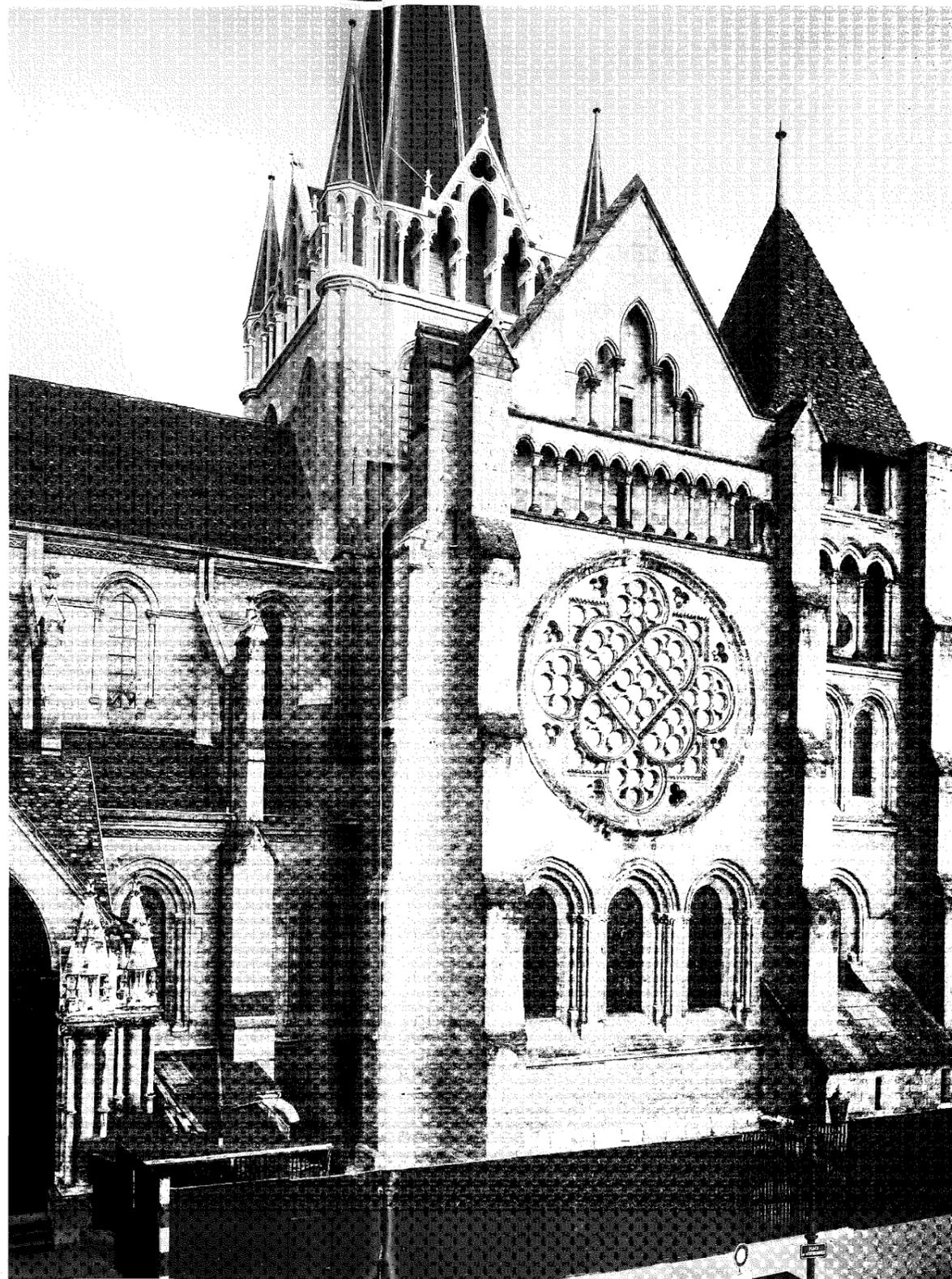
ETAT DE VAUD  
DEPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS  
DE L'AMENAGEMENT ET DES TRANSPORTS  
SERVICE DES BATIMENTS

Depuis des millénaires, l'homme bâtit des tours; au début, pour se défendre, pour dominer ses ennemis; plus tard, pour marquer et observer son territoire; parfois, en simple signe de puissance; et, toujours, pour se rapprocher du ciel et de ses dieux. La tour se construit logiquement; ronde ou carrée, elle s'érige sur de solides fondements, s'élève par des murs bien épais, peu percés et liés par quelques planchers. Les plus fortes sont les isolées, celles qui ne soutiennent qu'elles-mêmes, résistant des siècles durant aux guerres et aux éléments. Les constructeurs gothiques avaient de toutes autres ambitions; rejetant la densité des maçonneries romanes, ils développent peu à peu leur projet de transparence. Le mur devient pilier, la voûte se ramifie en arcs de plus en plus fins. L'allègement permet l'élévation et les tours gothiques atteignent des hauteurs vertigineuses. Les bâtisseurs de cathédrales eurent l'audace de réinterpréter la couverture de la croisée de transept en élevant d'extraordinaires tours «lanternes» dont les maçonneries se prolongent par des charpentes qui portent la croix ou le coq à des niveaux incroyables - plus de 70 m à Lausanne.

La conception de la tour «lanterne» m'apparaît comme l'un des chefs-d'œuvre de l'empirisme des constructeurs moyenâgeux. Cette tour est située à l'endroit le plus délicat du monument, subissant les efforts inégaux de la nef, des bras du transept et du chœur. Sa flèche immense est soumise aux pressions latérales du vent, aux torsions des charpentes, aux variations des températures comme aux intempéries. Et ces tours merveilleuses ont toujours souffert; quelques-unes se sont même écroulées, toutes ont donné des cheveux blancs à ceux qui assument leur survie.

Dans une publication précédente, nous avons raconté l'histoire des reconstructions qui se sont succédé après l'incendie de 1825 (voir la plaquette n° 47 éditée par le Service des bâtiments sur la tour lanterne de la cathédrale). Nous avons décrit la magistrale intervention de Viollet-le-Duc qui sauva la cathédrale d'un probable effondrement de la croisée de transept. Le maître a résolu l'instabilité chronique des superstructures centrales, mais il ne pouvait pas savoir que s'y ajouteraient des désordres dus à des faiblesses du sol portant les fondations du monument. Les travaux de consolidation sont aujourd'hui terminés après plus de 20 ans de mesures, de recherches et de réflexions. Tant de soins nous permettent d'espérer que l'opération réussisse et que la patiente s'en trouve longuement raffermie.

Les chapitres suivants démontrent comment les déséquilibres de la croisée se transmettaient vers le bras sud de transept et particulièrement vers son angle sud-ouest, affaibli par des interventions antérieures. Les remplages de la grande rose, qui découpe largement la face méridionale du transept, ont été reconstruits au début du siècle afin de remédier à l'usure de la molasse. Le chantier actuel n'a eu que peu à retoucher à ces maçonneries presque centenaires. En revanche, il fallut intervenir sans tarder sur les vitraux de la rose qui composent l'un des chefs-d'œuvre de l'art



du XIII<sup>e</sup> siècle européen. Nous avons vu précédemment à quel point l'harmonie statique d'une cathédrale est délicate; il en va de même pour les caractéristiques des climats intérieur et extérieur dont les modifications ont de graves conséquences sur les matériaux anciens et, notamment, sur les vitraux. En quelques décennies supplémentaires, la pollution atmosphérique et les variations de l'ambiance interne auraient détruit ces merveilleux témoins qui avaient pourtant résisté pendant plus de 600 ans. L'intervention est lourde puisqu'elle a nécessité la pose d'une verrière extérieure de protection, condition indispensable à la restauration même des vitraux.

La longue succession d'études et de travaux, qui débutèrent au milieu des années 70, forment un tout cohérent qui se conclut après presque un quart de siècle d'efforts, de réflexions et de courage. Des moyens financiers et humains considérables furent consentis avec la constante conviction qu'ils restaient à l'échelle des enjeux culturels et même économiques de notre époque. Les résultats obtenus sont le fruit d'un exceptionnel travail d'équipe qui réunit la commission technique (avec l'appui de la commission d'exploitation), tous les mandataires spécialisés et les entreprises adjudicataires. La réussite de ces travaux résulte d'une alchimie complexe qui, dans le cas de la cathédrale, multiplie la somme des volontés et des intelligences individuelles. Plutôt que de tous les remercier, je leur dis simplement que je suis extrêmement fier d'avoir réalisé avec eux un aussi merveilleux parcours professionnel et humain

Jean-Pierre DRESCO *Architecte cantonal*

## NOTES SUR L'HISTOIRE DU PIGNON SUD DU TRANSEPT ET SES RESTAURATIONS

La restauration récente de la façade sud du transept a permis d'affiner les observations et de préciser quelques éléments de datation, grâce aux efforts conjugués de l'archéologue et de l'historienne, l'un sur les échafaudages, l'autre dans les archives.

### DESCRIPTION GÉNÉRALE

Construite autour de 1200, cette façade monumentale se compose de trois fenêtres en arc brisé, surmontées d'une rose et d'un pignon percé de deux registres superposés de galeries à arcades. Les baies comportent une particularité unique pour la cathédrale des XIIe et XIIIe siècles. Elles sont flanquées, de chaque côté de leurs ébrasements extérieurs, de deux colonnettes qui accueillent des voussures décorées de rosaces. A l'intérieur en revanche, elles sont bordées d'une colonnette simple. Ces caractéristiques soulignent l'importance que le maître anonyme de Lausanne, père d'un clerc dénommé Jean, a voulu conférer à cette partie de l'édifice.

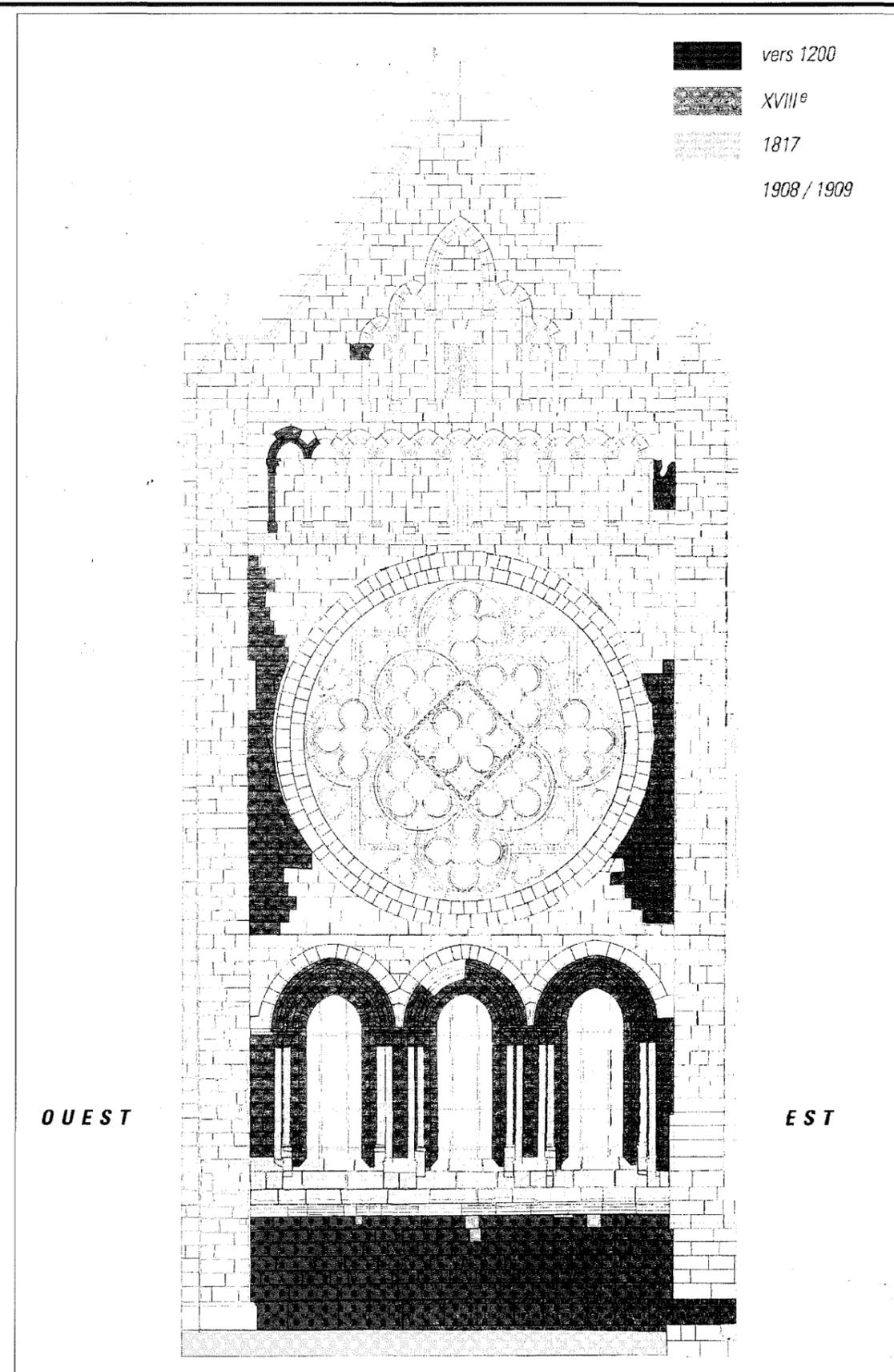
La rose et sa couronne ne forment pas exactement cette *ronde verrière* dont parlait Villard de Honnecourt. Leurs diamètres respectifs, en hauteur et en largeur présentent des différences de 20 centimètres, dues au tassement général de la façade. La construction d'un arc-boutant, appuyé contre le portail peint et la face occidentale du croisillon, probablement encore au XIIIe siècle, prouve l'ancienneté d'un problème que le démontage de cette pièce par Assinare en 1880-1881 a encore aggravé.

### RESTAURATIONS

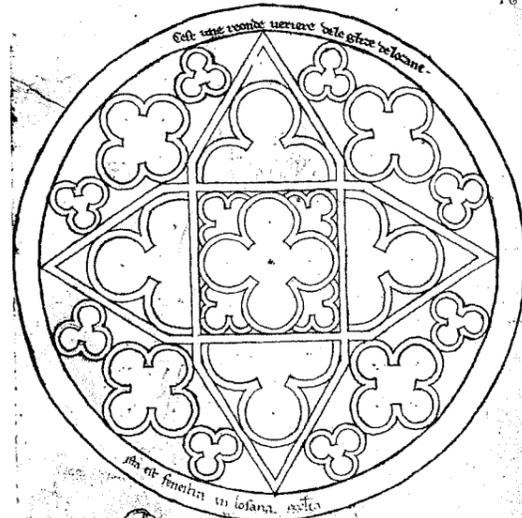
Aucune restauration avant le milieu du XVIIIe siècle n'est repérable. Les propos de Plantin en 1666 (1), repris et amplifiés au cours du temps - jusqu'à affirmer que la lézarde, ouverte par un premier tremblement de terre et utilisée primitivement comme portemanteau s'était élargie au point de permettre à des personnes vivantes, précisait-on, de passer au travers de la muraille, avant de se recoller impeccablement grâce à un second tremblement de terre - font davantage office d'addenda à la liste des nombreux miracles opérés par Notre-Dame de Lausanne que d'allusion imagée à une ancienne réparation.

Dans sa grande campagne de restauration intérieure, conduite de 1747 à 1749, Delagrangue prévoyait quelques interventions à l'extérieur qui ne seront pas exécutées, en tout cas jusqu'en 1767. Conformément à ses intentions, les fûts et bases des colonnes encadrant les fenêtres inférieures, ainsi que quelques blocs du parement sont remplacés; ces pièces, toujours en place, ont dû être posées au cours de la seconde campagne de 1768 à 1774. En revanche, les travaux effectués alors dans la partie supérieure du pignon, relatés par le colonel Sinner (2), ont totalement disparus sous la pioche des restaurateurs de 1908-1909. Selon un relevé de Recordon de 1908 (3), 18 morceaux de la couronne ont été remplacés alors et 31 pièces de réparation, fragments ou ponts entre deux éléments d'origine, ont été fixées dans le remplage au moyen de discrets fers plats, sans respecter la stéréotomie primitive. Cette opération a vraisemblablement nécessité le démontage, du

AAM, Relevé de la face  
méridionale du transept sud,  
1997, échelle 1:20.



Villard de Honnecourt,  
«c'est une ronde verrière de la  
glize de Lozane», 13<sup>e</sup> siècle,



moins partiel, des médaillons sis à proximité des nouveaux blocs, leur nettoyage et peut-être quelques réparations.

En 1817, Perregaux entreprend d'importants travaux, dûment attestés dans les sources. Des vitraux héraldiques sont posés dans les trois fenêtres; à cette occasion probablement, les tablettes et le glacié sont changés et adoptent leur forme particulière, clairement notée sur l'élévation de la face sud de 1820-1825 (4). Les médaillons de la rose sont complétés et réparés et le remplage, consolidé au mortier. Par la suite ce dernier est stabilisé par un réseau de fers, visible sur le relevé de Recordon. Le caractère grossier et rapide de cette réparation laisse entendre qu'elle n'a été effectuée que dans l'attente d'une réfection plus globale.

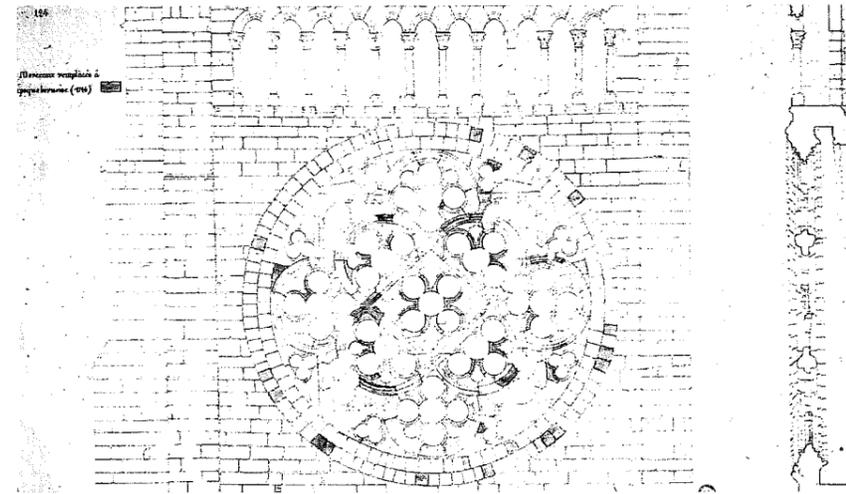
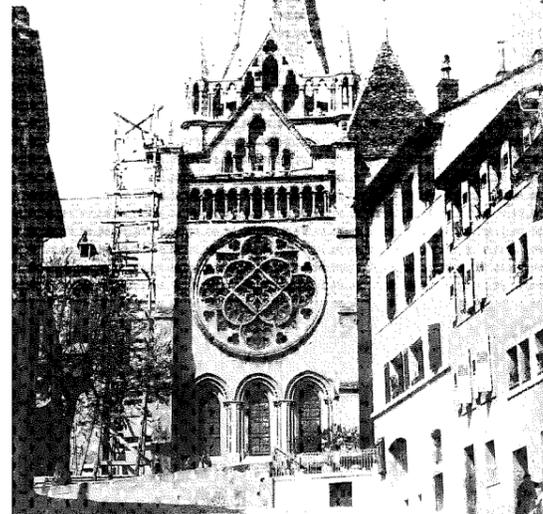
Il appartiendra à Eugène Bron d'intervenir massivement. En 1908 et 1909, il fait renouveler le remplage et reconstruire la partie supérieure de la façade.

Cette décision, douloureuse, a divisé partisans - architectes de la cathédrale, comité de restauration et autorités cantonales - et opposants - experts et commission technique - pendant plus de vingt ans. En 1892, le projet de restitution dressé par Assinare est combattu par Naef, Châtelain et surtout Geymuller qui y voit l'emprise de Viollet-le-Duc et une conséquence du «culte que l'on professe à Lausanne pour la mémoire de cette homme»(5). Après avoir admis en 1905 le remplacement partiel des parties endommagées, la commission technique finira par souscrire en 1908 aux propositions de reconstruction présentées par Bron, non sans oppositions aussi virulentes que vaines de Magne et de Geymuller.

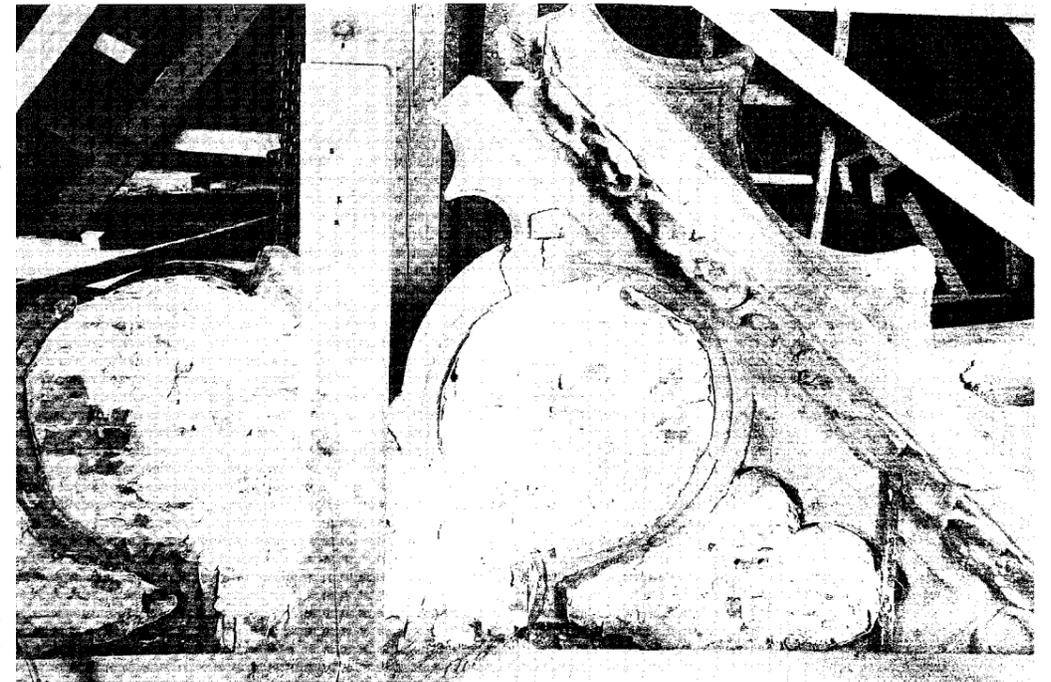
#### POLYCHROMIE

Les observations récentes ont révélé l'existence de vestiges importants de polychromie sur lesquels malheureusement les archives demeurent muettes. Les parties de la façade antérieure à 1908/09 conservent, par endroits, pas moins de quatre couches peintes. Un graffiti daté de 1776 (?), badigeonné en gris, est visible sur un moellon situé au bas de la façade, en dessous de la tablette des fenêtres. Le remplage de la rose présente différentes nuances de gris, du clair jusqu'au très foncé, mais aucun joint peint. Ce décor est également appliqué sur les pièces de réparation de 1768-74 et sur les réfections postérieures au mortier, actuellement au dépôt lapidaire et dans la chapelle haute sud. Les fenêtres inférieures portent les vestiges d'une décoration: les chapiteaux médiévaux sont partiellement recouverts d'une couleur jaune ocre, posée probablement au XVIII<sup>e</sup> siècle tandis que les ébrasements sont peints en gris avec des joints soulignés en blanc.

Werner STÖCKLI et Claire HUGUENIN



[Benjamin Recordon],  
Morceaux remplacés à l'époque  
bernoise - no 124 (1908)  
Tirage partiel du relevé  
Recordon, 1904 - 1905, avec  
réhauts de couleurs.  
(ACaL)



Démolition du remplage de  
la rose, 1908 (ACaL)

Célestin Louvrier  
Façade méridionale du croisillon  
sud du transept pendant  
les travaux de restauration  
du contrefort sud-ouest,  
1881 - 1882 (Collections  
photographiques - MHL)

#### NOTES:

- (1) Jean Baptiste Plantin, «Description de Lausanne. Le grand temple, Rose» in *Abbrégé de l'histoire générale de Suisse*, Genève, 1666, pp. 499-500
- (2) Sinner, «Beschreibung der haupt Reparationen so an der Cathedralkirchen zu Lausane sind gemacht worden, von Ano 1768 bis End 1774» in *Rechnungen uber die Reparation der Cathedral Kirchen zu Lausanne, angefangen Ao: 1768 und vollendet Ao: 1774*. (ACV: BM 39). Sinner déclare «der Anfang ist gemacht worden an dem bauweiligen fronton ob der so genannten Rose an dem Chorr, welches sandt seinem Satilen, verdachungen - Und gotischen Ornamenten gantz Neüw aufgebauen worden.»
- (3) Benjamin Recordon, *Cathédrale de Lausanne. Façade Sud du transept* - n° 38, 3 feuillets, relevé 1904-1905, échelle 1:25. Héliographie coloriée du feuillet central du précédent intitulée *Morceaux remplacés à l'époque bernoise (1748) - n° 124*, non signé, non daté, (1908) (ACaL).
- (4) Anonyme, *Elévation de la face sud*, vers 1820-1825 (ACaL).
- (5) Henri de Geymuller, *La restauration de la rose de la Cathédrale de Lausanne*, mars 1892. Projet d'article, non publié. (BCU/D: fonds Geymuller R: 2620/03/01).

## MESURE DE STABILITE DU CROISSILLON SUD

### INTRODUCTION

La Cathédrale de Lausanne a subi, depuis plus de 700 ans, 9 interventions structurelles majeures, notamment sur la Tour Lanterne et sur le Croisillon Sud [1]. Les archives de la Cathédrale décrivent depuis longtemps les inquiétudes des commissions techniques responsables de cet édifice, notamment à propos de sa stabilité structurelle. La volonté de connaître d'une manière plus précise ce comportement a conduit au développement de 2 systèmes de surveillance non-destructifs et complémentaires. Ces 2 dispositifs sont en service depuis plus de 15 ans déjà.

### DISPOSITIFS PERMANENTS DE CONTROLE

Dans un premier temps, le développement de ces 2 dispositifs devait répondre aux critères de durabilité, de précision élevée, d'adéquation aux dimensions de l'édifice, de possibilité d'extension et permettre une augmentation aisée de la fréquence des contrôles. Ces 2 systèmes ont été développés et mis au point par MM. L. Barraud et J.-C. Gasser géomètres et S. Von der Mühl, ingénieur.

Dans un deuxième temps, les types de contrôle nécessaires furent définis. Leurs principes sont les suivants:

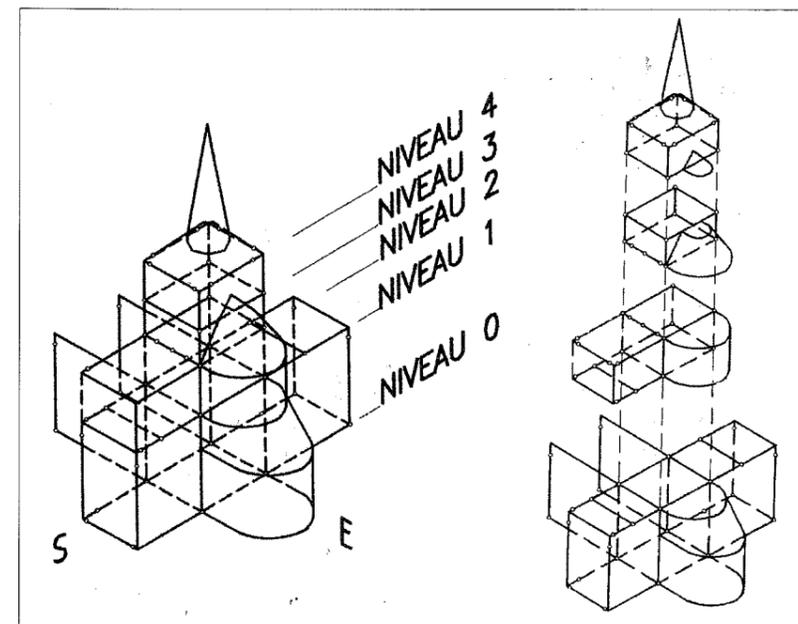
- **Système global:** un réseau de plus de 60 cibles optiques définit le volume intérieur de la Cathédrale. Ce système permet de suivre les déformations du volume et ainsi de déceler tous mouvements suspects qui pourraient être considéré comme une dérive d'une partie de l'édifice. Plusieurs points de visées, définis aux différents niveaux structurels, permettent de mesurer les coordonnées spatiales des cibles visibles. Chaque cible est donc visée plusieurs fois ce qui accroît la précision des valeurs moyennes finales de leurs coordonnées.
- **Système local:** une surveillance des mouvements relatifs des lèvres de plus de 100 fissures s'effectue à tous les niveaux de l'édifice. Ce contrôle se fait par le truchement de témoins collés de part et d'autre d'une fissure. Les distances entre témoins sont mesurées par un appareil très précis, puis comparées à leurs valeurs calibrées. Les différences donnent ainsi les écartements ou les glissements relatifs des lèvres d'une fissure.

### RÉSULTATS DES CAMPAGNES DE MESURES

La corrélation des résultats de ces 2 méthodes a permis de déceler une dérive de l'angle Sud-Ouest du Croisillon Sud.

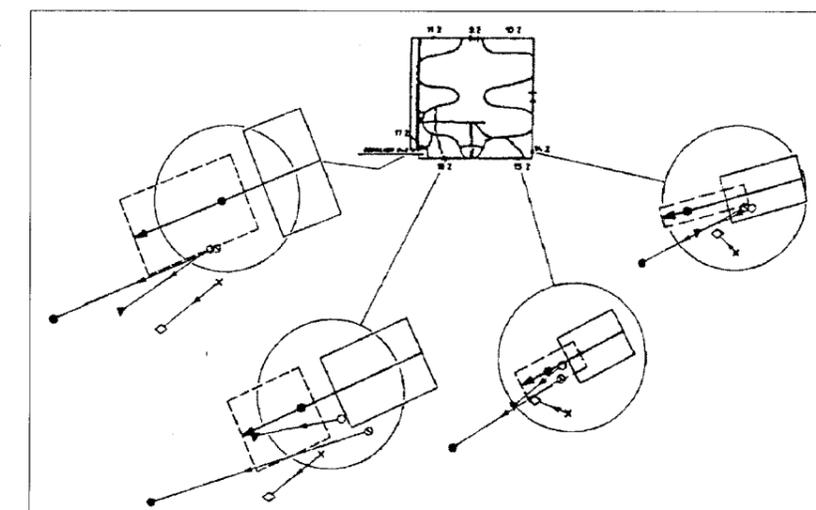
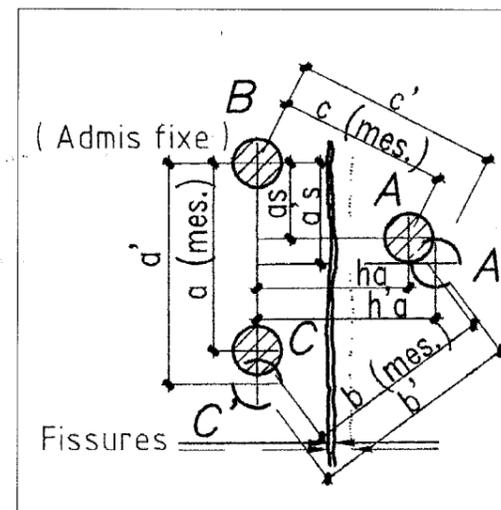
Depuis 1980, les premiers résultats ont montrés des mouvements d'ordre cyclique suivant les variations climatiques dont l'ordre de grandeur confirmait la nécessité d'une grande précision des dispositifs optiques et mécaniques [2]:

*Système global de surveillance des mouvements des volumes de la Cathédrale. Chaque petit cercle représente une cible positionnée en fonction de la structure de la Cathédrale et de ses différents niveaux.*



*Comble du Croisillon Sud. Mouvements cycliques été-hiver présentés sous forme de rectangles englobant la moyenne des positions des cibles. Les positions hors rectangles-enveloppe montrent la dérive de ces cibles dans la direction Sud-Ouest.*

*Système local de surveillance des mouvements des lèvres des fissures. Variations du déplacement de «A» parallèlement au côté «a» exprimé comme rapport  $a_1/a$  en % et successivement  $a_2/a$ ,  $a_3/a$ ,  $a_4/a$ , ... Lecture des diagrammes de témoins: - % positif: la lèvre droite décent, p.r. à la gauche. - % négatif: mouvement inverse.*

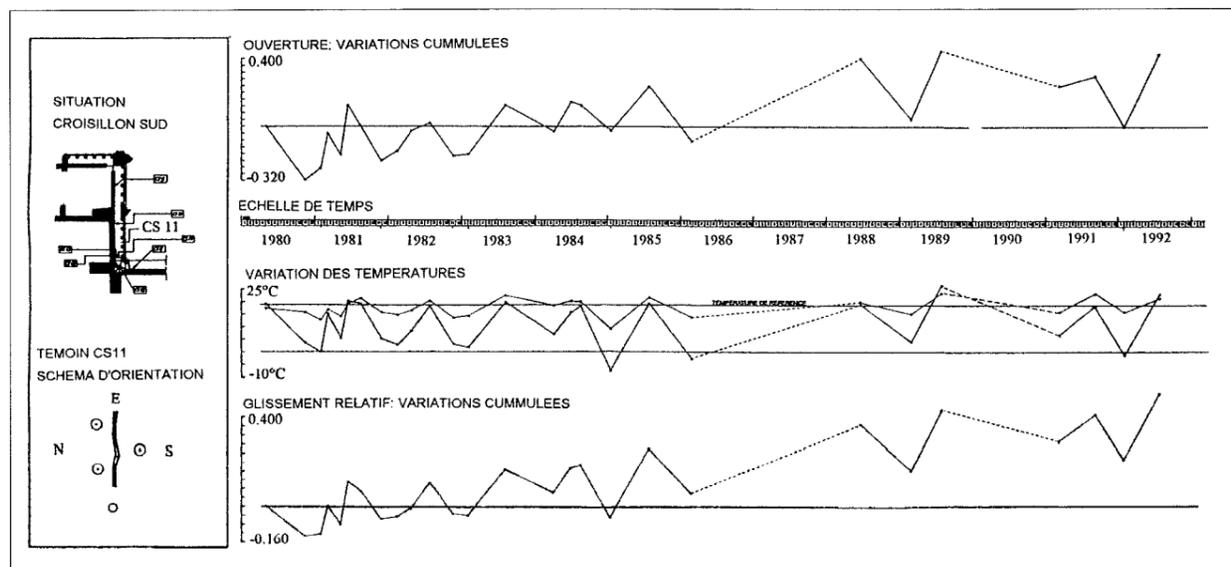


- Système global: dans les parties hautes de l'édifice, les mouvements des cibles optiques ont montré une amplitude-enveloppe maximale de quelques 4 mm. Précision:  $\pm 0.4$  mm.
- Système local: pour certaines fissures de la zone du Croisillon Sud, des mouvements proche du millimètre ont été mesurés. Précision:  $\pm 1/60^{\text{ème}}$  mm.

En 1989, certaines cibles optiques commencent à quitter le schéma des déformations cycliques antérieures [3]. Ces cibles sont localisées dans les parties hautes, ainsi que dans les combles, du Croisillon Sud. On retrouvera des dérives anormales dans les témoins de fissures pour la même période et la même zone.

Cette constatation fut un des critères d'alarme quant à la sécurité de la stabilité de la zone Sud-Ouest du Croisillon Sud. L'analyse des causes de ces mouvements a conduit, dans un premier temps, à une consolidation du sous-sol et des fondations

- - - - - enveloppe campagne d'été
- - - - - enveloppe campagne d'hiver
- ✕ hiver 1989 - 1990
- ▼ été 1991
- ◇ été 1990
- ⊗ hiver 1991 - 1992
- hiver 1990 - 1991
- été 1992



de la Cathédrale dans cette zone. Dans un deuxième temps, la consolidation des superstructures a nécessité la mise en place de tirants dans le but de redonner une cohésion à l'ensemble du massif de Croisillon Sud.

#### PHASE DE TRAVAUX

Depuis le commencement des travaux de consolidation du Croisillon Sud, des échafaudages ont été édifiés, notamment autour de la Rose à l'intérieur de l'édifice, ce qui a rendu impossible la poursuite des campagnes de mesures du réseau de cibles optiques (système global). En effet, un certain nombre de cibles se sont trouvées hors de vue des points de visée des théodolites. Dans le calcul général du réseau, l'absence de ces valeurs créait un déséquilibre trop important et la précision des résultats en auraient souffert.

Par contre, des campagnes de mesures ont été effectuées sur les témoins de fissures encore atteignables pour surveiller des désordres possibles entre étapes importantes du chantier. Il en ressort que l'interprétation des mouvements des fissures, observées pendant cette période de chantier, est difficile en raison de leurs divergences et incohérences. Ce phénomène s'était déjà produit pendant les travaux liés au chantier de restauration du cœur. Néanmoins, l'amplitude des mouvements mesurés pendant la phase des travaux n'atteint pas celles qui ont conduit au diagnostic de la dérive du Croisillon Sud.

*Ouverture et glissement relatif des lèvres d'une fissure. La représentation cumulée montre dans cet exemple de témoin du Croisillon Sud, niveau 3, l'augmentation progressive des 2 mouvements. Mis en parallèle avec les résultats du système global, la dérive de cette zone est confirmée.*

#### CONCLUSIONS

Les deux systèmes de contrôles mis en place et exploités depuis 1980 ont joué leurs rôles comme outils d'aide à la compréhension du comportement général de la Cathédrale de Lausanne, ceci dans une approche à long terme.

Concernant l'aspect court terme, sa fonction d'alarme a aussi été mise en évidence grâce à la rapidité de la disponibilité de ses informations.

La corrélation des ces deux systèmes complémentaires a été décisive, pour l'équipe pluridisciplinaire responsable de la surveillance de l'édifice, pour identifier formellement une dérive de l'angle Sud-Ouest du Croisillon Sud et ainsi mettre sur pied la stratégie et un projet de consolidation de cette zone.

Une série de campagnes complètes de mesures sera nécessaire à la fin du chantier pour vérifier les hypothèses du projet de restauration. Ces analyses devront prendre place une fois que cette zone de l'édifice sera libre de toutes entraves d'accès aux points de mesures et de visées optiques. Elles permettront ainsi de contrôler si les travaux exécutés dans le cadre du projet de consolidation auront permis à la Cathédrale de Lausanne de retrouver son rythme de mouvements cycliques réguliers.

Jean-François KAELIN, *ing. civil, EPFL-SIA*

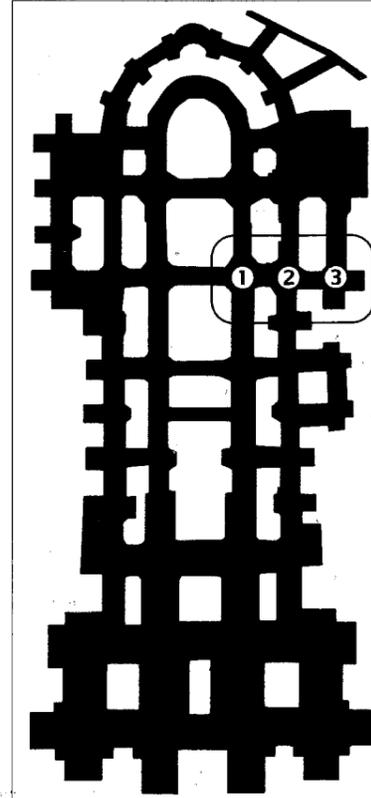
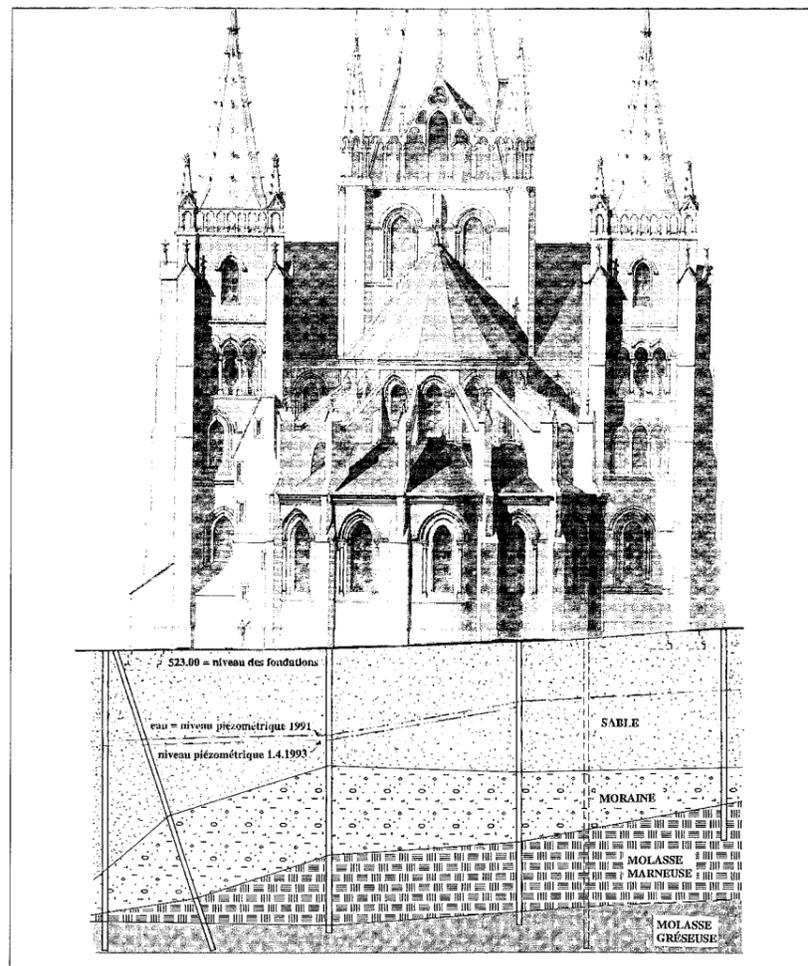
#### NOTES

- [1] *Cathédrale de Lausanne; Tour Lanterne et Transept. Historique des travaux effectués avant 1900* J. David Chausson Lausanne, 1986
- [2] *Cathédrale de Lausanne; Tour Lanterne et Transept. Rapport sur le contrôle des mouvements des superstructures 1979/1985* - S. Van der Mühl, L. Barraud, J.-C. Gasser Lausanne, 1986
- [3] *Cathédrale de Lausanne; Tour Lanterne et Transept. Contrôle des mouvements des super-structures; revue synthétique des principaux résultats 1979/1992* - S. Van der Mühl, J.-C. Gasser, Lausanne, 1993

Imparfaitement résolues lors de la dernière restauration, les questions statiques discutées en 1908 se sont posées presque dans les mêmes termes lors de l'étude qui a conduit aux travaux décrits ci-dessous. En 1908, la possibilité d'avoir encore des tassements résiduels avait été écartée sans aucune investigation allant dans ce sens. Des nivellements faits dans les galeries de la Tour Lanterne et leur prolongement dans le croisillon sud montrent que toute cette zone a subi d'importants tassements au cours des siècles. L'examen attentif des lézardes et le relevé de l'inclinaison des assises a confirmé cette première conclusion. Il était donc indiqué de revoir ce point essentiel pour la stabilité de l'édifice.

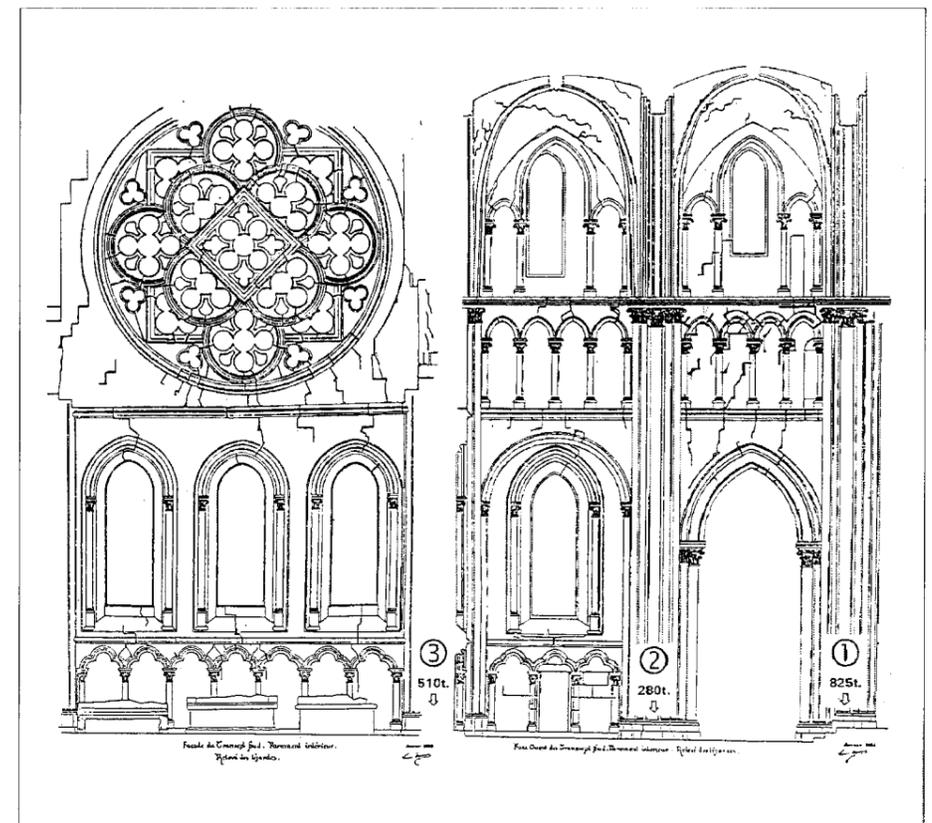
L'ensemble des fondations de la cathédrale de Lausanne repose sur des sables et des limons actuellement consolidés. Une série de sondages forés a permis de définir le profil géotechnique selon l'axe du transept. Le détail de ces investigations a été publié dans le "Rapport sur les sondages de reconnaissance géotechniques effectués en 1990" [1]. Schématiquement, sous les remblais qui forment la couche

Coupe géotechnique au travers du transept



Fondations de la cathédrale

Elévations sud et ouest du croisillon sud, vues de l'intérieur, avec indication des lézardes. Depuis le milieu de la façade sud, les assises des pierres sont inclinées vers l'ouest.



archéologique, on trouve des sables fins à moyens, reposant sur la moraine glaciaire et la molasse (voir coupe géotechnique). La moraine plonge assez subitement sous le croisillon sud: la couche de sable et de limons compressibles augmente donc d'épaisseur à cet endroit. C'est donc dans cette zone que l'on doit s'attendre à de plus grands tassements. Le niveau de l'eau dans le terrain se situe approximativement au milieu de la couche de sable, vers 8.00m de profondeur. Les relevés faits pendant environ 6 ans montrent que ce niveau varie relativement peu (moins de 0.60m). A cette première campagne de sondages sont venues s'ajouter des investigations complémentaires permettant de lever le doute sur la nature des zones intermédiaires. Ces sondages ont été effectués en 1991 [2] et en 1992 [3], ils ont aussi été équipés de piézomètres permettant de contrôler le niveau de la nappe phréatique. L'ensemble de ces connaissances géotechniques, les relevés des fondations effectués parallèlement et les calculs statiques, compte tenu des charges de l'édifice, montrent que le taux de sollicitation du terrain sous les fondations est extrêmement variable. Alors que les fondations ont approximativement les mêmes surfaces sous le pilier de la croisée de transept, sous le pilier d'angle du bas coté et sous les contreforts à l'angle ouest du croisillon sud, les charges elles, varient dans une proportion de 1 à 3. Les terrains étant constitués de sols compressibles, la cause

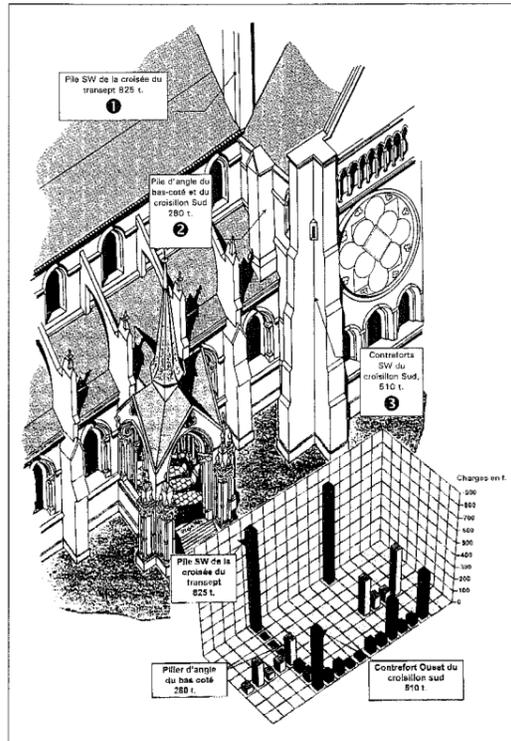


Schéma des charges sur les fondations dans la zone du croisillon sud

principale des fissurations relevées au début de ce siècle - cf. élévations sud et ouest du croisillon sud - est donc facile à expliquer. Dans ces relevés on peut observer que l'angle ouest du croisillon sud a fortement tassé, entraînant avec lui une partie des superstructures et créant ainsi de nombreuses lézardes qui ont été colmatées en 1908. Les mesures de nivellement de précision faites depuis plus de 8 ans ainsi que les mesures de dérive de la superstructure décrites par ailleurs ont montré que des mouvements résiduels étaient encore décelables. Il était donc indiqué de trouver une méthode pour freiner et si possible stopper les tassements. Une solution simple et très efficace eut été de transmettre les charges en profondeur à l'aide de pieux forés au travers des fondations. C'est la solution que l'on pourrait retenir si une partie de l'édifice reposait déjà sur un sol incompressible (roches, molasse gréseuse, etc.). Dans notre cas, la cathédrale ne repose pas sur de tels sols mais sur des sables et limons qui sont sensibles aux fluctuations du niveau de l'eau. Avec une intervention de ce type on aurait créé un point dur dans les fondations avec des conséquences funestes sur les autres parties non consolidées: les mouvements de tassements se seraient inversés.

La solution finalement retenue a été de mettre en place un ceinturage en béton armé à l'extérieur des fondations existantes, ceinturage qui lui est appuyé sur des micro-pieux. On obtient ainsi, d'une part un confinement des fondations en surface et, d'autre part, l'effet des injections pratiquées dans les micro-pieux permet de réaliser une densification du sol dans les zones de fondations moins compactes. C'est donc dans le terrain, sous les fondations, que l'on réalise une amélioration de la compacité et ainsi une plus grande rigidité quant aux tassements.

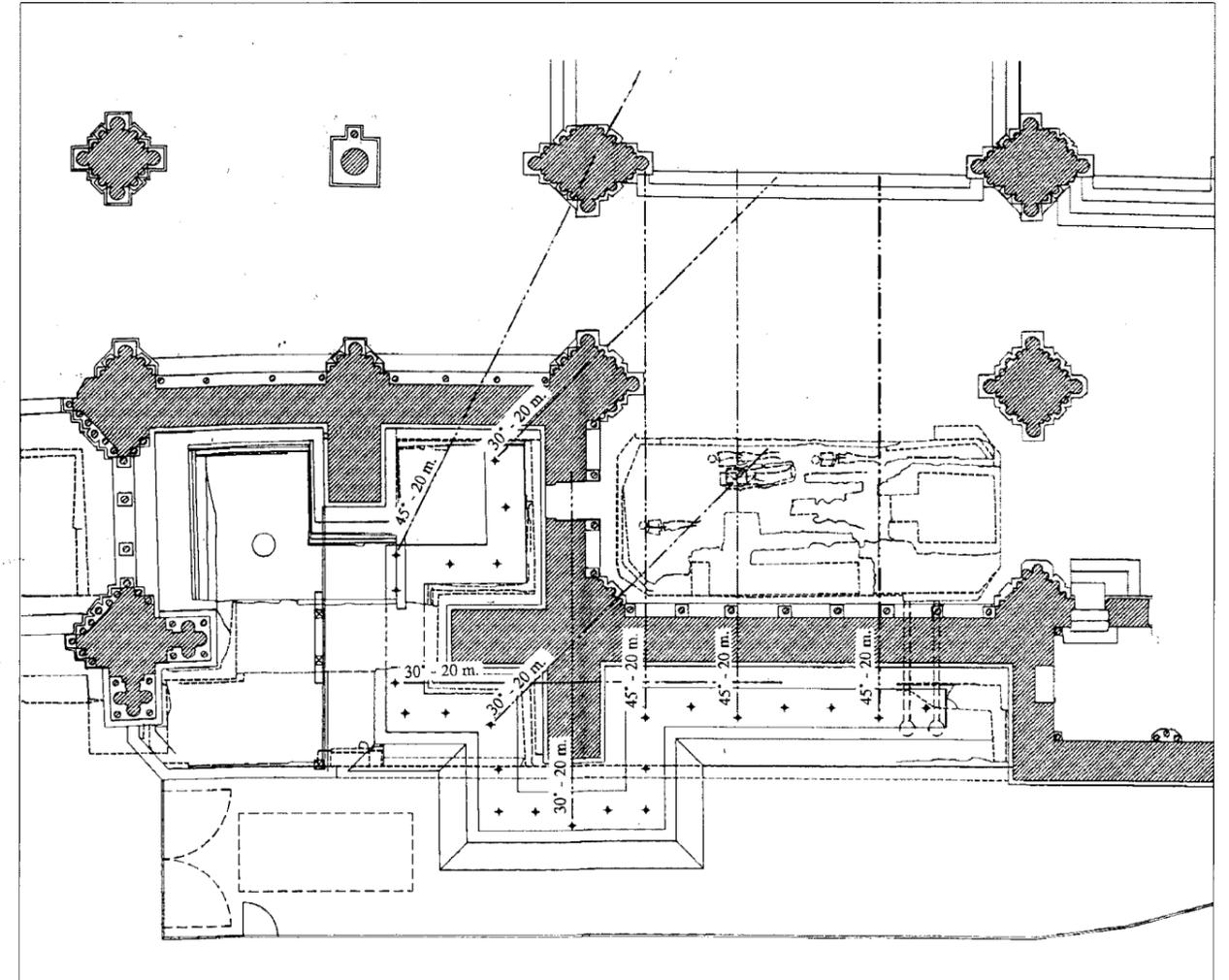
Au cas où cette première intervention, qualifiée de douce, ne serait pas suffisamment efficace, une série de liaisons entre le ceinturage des fondations et les fondations elles-mêmes est possible (fig. 6); les éléments d'une telle liaison sont déjà incorporés dans le ceinturage. L'observation du comportement de l'angle ouest du croisillon sud sera l'indicateur de la mise en œuvre éventuelle de telles mesures additionnelles.

Les travaux se sont déroulés comme prévu, au printemps 1995, 24 micro-pieux ont donc été foncés par l'entreprise Stump SA.

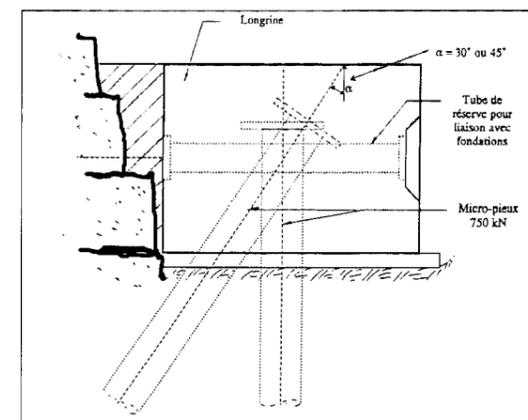
Jean-Pierre MARMIER, ingénieur civil

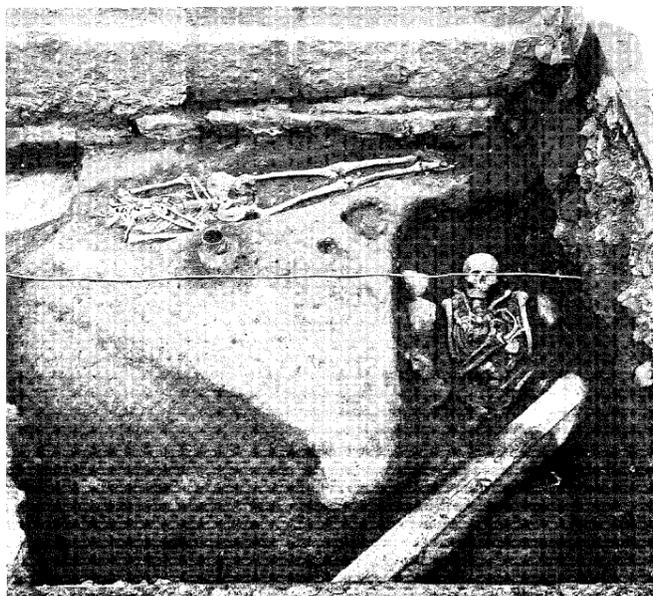
NOTES

- [1] Rapport sur les sondages de reconnaissance géotechnique effectués en 1990 - Denis Weidmann, Edouard Recordon, Stéphane Von der Mühl et Jean-Pierre Marmier
- [2] Sondages et essais, rapport N° C9110 - Geotest - T. Martinenghi
- [3] Sondage complémentaire, rapport N° C9110-B - Geotest - T. Martinenghi



Plan des fondations avec position des micro-pieux et coupe sur la longrine extérieure en béton armé





Tombes au sud du croisillon.  
La tombe de droite contenait  
un fragment de reliquaire en  
os. (LA c 5371)

Catelle de poêle en faïence à  
décor bleu, XVIIIe siècle. (LA  
7830)



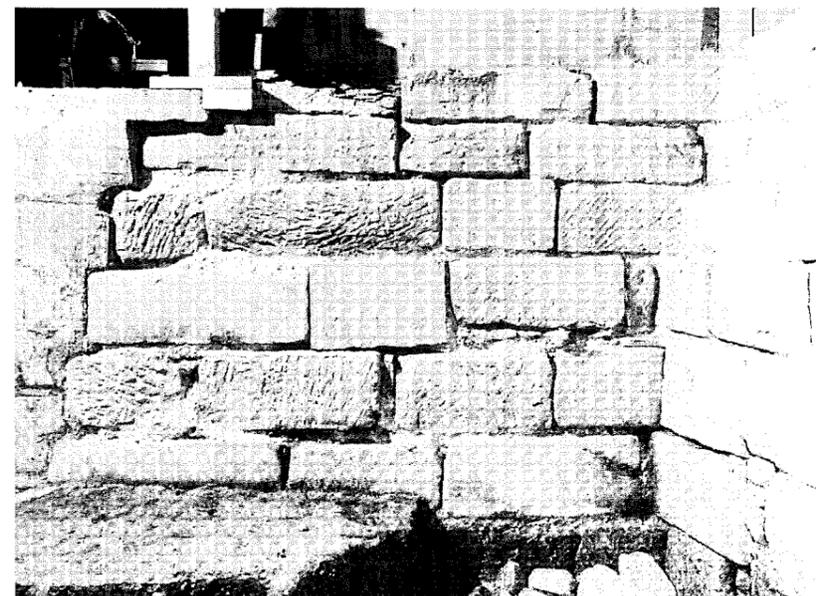
#### LA FOUILLE

Les fouilles archéologiques entreprises dans le cadre des travaux de renforcement du secteur sud-est ont porté sur la surface de la chapelle Menthonay et une bande de terrain entourant la partie ouest du transept sud, jusqu'à la sacristie.

Les observations auxquelles elles ont donné lieu sont extrêmement hétérogènes et les vestiges découverts sont les témoins d'époques très différentes.

Les structures les plus anciennes apparues à la surface du terrain vierge se présentent sous la forme d'un ensemble de trous de poteaux, de diamètres très variés, montrant des recoupements entre eux. Les vestiges sont trop ténus et la surface fouillée trop limitée pour que l'on puisse reconstituer un réseau construit. On peut tout au plus deviner, sous la Rose, une orientation qui correspond à celle des cathédrales successives. Les trous de poteaux peuvent avoir servi à soutenir des constructions charpentées en bois, des appentis, ou de simples clôtures. La date de ces aménagements, qui représentent plusieurs phases successives, est très incertaine. Elle peut être comprise entre l'Age du Bronze et le haut Moyen Age.

La phase d'occupation suivante est matérialisée par un cimetière dont les débuts sont antérieurs à la cathédrale gothique. L'échantillon touché comprend au total 48 sépultures. Certains tombeaux sont construits en moellons, coutume qui disparaît progressivement à l'époque gothique. L'orientation générale des inhumations est identique à celle de la cathédrale gothique, sauf pour quelques tombes qui sont tournées vers le sud. Dans ce groupe d'inhumations, une tombe contenait un fragment de plaque circulaire en os gravé, reste probable d'un reliquaire. La sépulture a peut-être été pillée anciennement. La moitié des tombes respectent les fondations de la cathédrale du XIIIe siècle et prennent donc place dans une vaste



La fondation du contrefort  
entre portail peint et croisillon,  
face est. On remarque les  
différentes qualités de taille  
de la molasse. (LA c 5387)

aire funéraire regroupant le cimetière de la cathédrale (dit aussi de Sainte-Croix), le cimetière de la chapelle Saint-Maur, voisine, et le cimetière de l'église paroissiale Saint-Paul. Les inhumations dans ce secteur ont cessé vers le début du XVIIe siècle. Vers l'angle sud-ouest du transept ont également été découvertes des fosses témoignant de l'activité des fondeurs de cloches. Une succession de fosses au même endroit semble être due aux multiples tentatives de coulage de la «Clémence», seule cloche médiévale subsistant à la cathédrale et dont la fabrication n'a été achevée qu'au terme de plusieurs essais entrepris entre 1515 et 1518. Les aménagements plus récents paraissent notamment liés aux travaux de Viollet-le-Duc: abaissement du niveau de la place et construction d'un muret reliant les contreforts.

Enfin, une fosse creusée contre la fondation du transept, sous la Rose, contenait les débris, en nombre important, de deux poêles à catelles de faïence du XVIIIe siècle. Les transformations de la place avaient ainsi offert la possibilité d'enfouir des déchets encombrants. Le premier poêle, à décor bleu, a été exécuté dans le troisième quart du XVIIIe siècle dans le style du potier David Pollien. Le second, à décor grenat, daté de 1780-1790 environ, peut être attribué à François Pollien II.

Laurent AUBERSON, *archéologue*

#### L'ARCHÉOLOGIE MONUMENTALE DE LA CATHÉDRALE

Le dégagement des fondations du croisillon sud de la cathédrale actuelle à la faveur des fouilles a permis des observations importantes pour la compréhension de la chronologie de la construction gothique.

La plupart des blocs utilisés pour la fondation sont taillés grossièrement au pic ou à la laie, mais un certain nombre d'entre eux présentent une taille fine à la laie. Cette belle facture, complétée par des arêtes ciselées, nous indique que les moellons, initialement prévus pour une élévation, ont été récupérés en fondation. Leur forme cintrée montre qu'ils devaient appartenir aux chapelles rayonnantes du déambulatoire roman, projet inachevé dont on voit les fondations sous le déambulatoire actuel.

Werner STÖCKLI, *archéologue*

## CONSOLIDATION DES STRUCTURES MAÇONNÉES ET RENOUVELLEMENT DU GRAND CERCLE DE LA ROSE

La zone du croisillon sud du transept a fait l'objet d'une étude d'ensemble: celle-ci montre qu'outre le problème lié aux fondations, des incertitudes demeuraient sur la stabilité de ce massif, en particulier dans l'angle ouest. La rose, en tant que vitrail géant, crée une déviation des efforts des structures sus-jacentes et introduit des poussées obliques dans les contreforts de l'angle ouest du croisillon. Il en est de même pour les vitraux situés dans la face ouest du même croisillon.

Ces poussées sont normalement compensées soit par le poids des superstructures, soit par des arcs-boutants. Un calcul statique simple montrait que les superstructures étaient trop légères (la présence d'un escalier entre les contreforts diminuant sensiblement le poids de l'ensemble). Par ailleurs, l'arc-boutant existant encore au siècle passé avait été supprimé et son effet remplacé d'une part, par deux tirants métalliques horizontaux, l'un en dessus, l'autre en dessous de la rose et, d'autre part, par un câble de 30 mm de diamètre entourant la rose. La poussée oblique, qui se situe entre ces deux tirants, n'étant donc pas directement reprise, il fallait mobiliser des efforts de cisaillement dans la pierre pour trouver un équilibre. La maçonnerie, spécialement la maçonnerie en molasse, n'est pas particulièrement indiquée, dans ce cas pour résister aux efforts; il faut l'apport de charges verticales pour assurer une telle transmission et recentrer la résultante des forces en présence.

On a donc complété le dispositif de tirants horizontaux par un double tirant vertical à l'intérieur de l'escalier. En s'ancrant en dessous du niveau inférieur de la rose on peut mettre en précontrainte toute la partie critique et permettre ainsi une réelle mobilisation des forces de cisaillement.

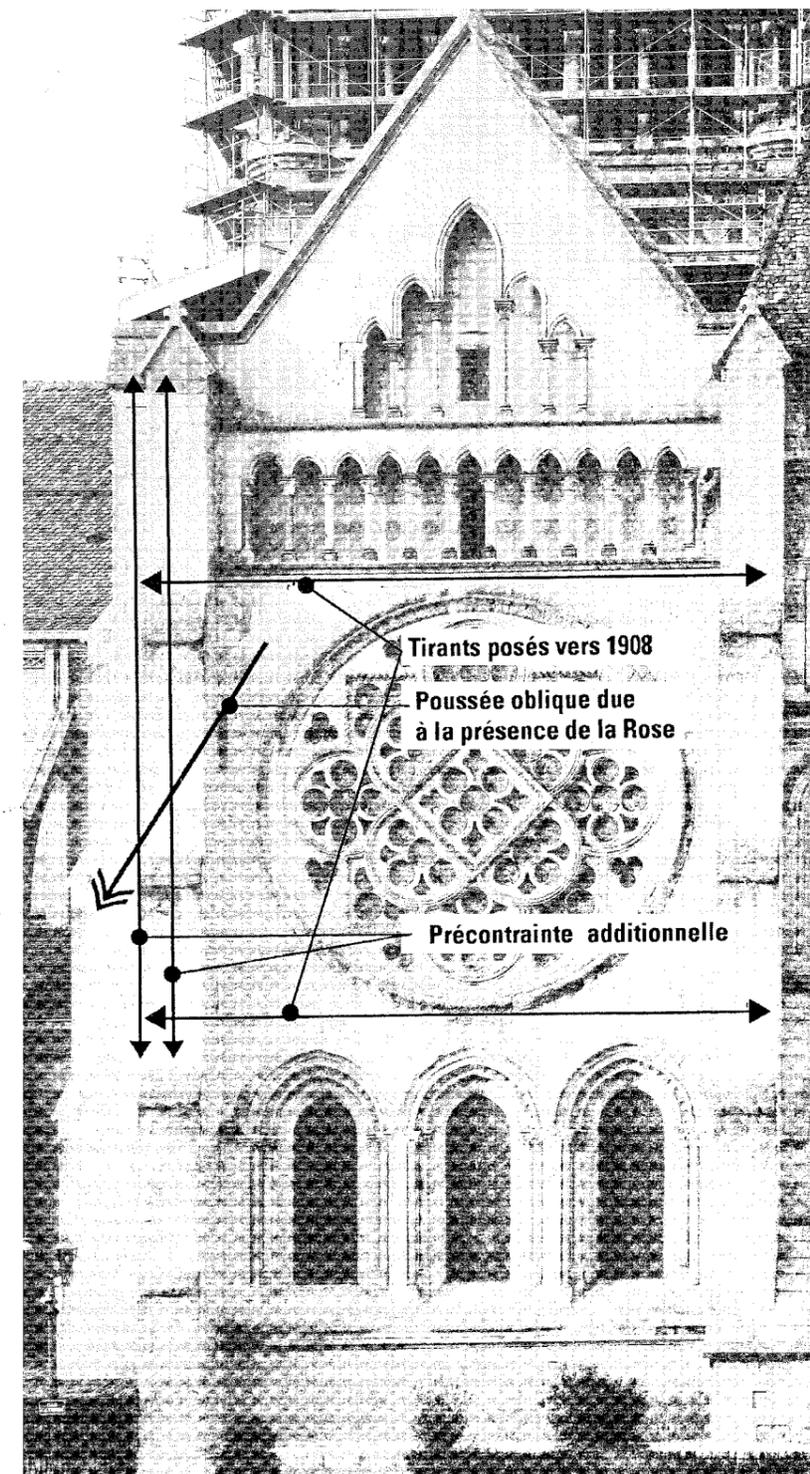
Trois interventions ont donc été planifiées et exécutées:

1. Pose de tirants provisoires pour permettre l'exécution des travaux, en particulier la détente du câble entourant la rose;
2. Mise en place des deux tirants verticaux définitifs à l'intérieur de l'escalier, entre les contreforts de l'angle ouest du croisillon sud;
3. Remplacement, en douze étapes symétriques, des deux rangs de pierres de la couronne extérieure de la rose,

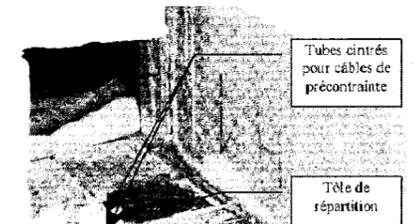
Cette opération peu commune a pu être réalisée en laissant en place le remplage intérieur de la rose sans étayage spécifique. Lors de l'enlèvement des pierres, l'ancien câble a été sectionné et deux tubes cintrés ont été posés pour pouvoir, après le remplacement des pierres, introduire deux câbles qui permettront la précontrainte de la rose.

Le remplacement de la couronne extérieure a été réalisé par étapes de travail telles que l'équilibre statique soit toujours assuré à l'intérieur du remplage de la rose. La figure 2 montre la fin d'une étape avec la brèche permettant le raccord entre les tronçons de tubes en acier inoxydable solidaires d'une plaque cintrée elle aussi, et assurant ainsi la diffusion des efforts dans la couronne lors de la mise en tension des deux câbles.

Un contrôle permanent des déformations des éléments de la Rose a été assuré tout

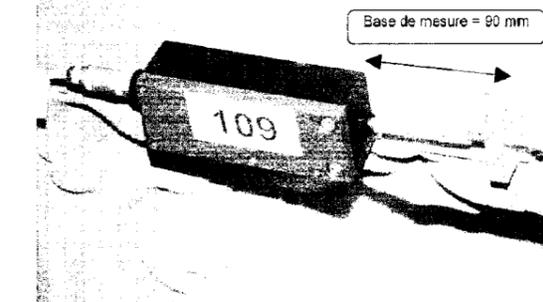


Façade sud du transept (croisillon sud) avec indication des tirants anciens et nouveaux



Tubes cintrés pour câbles de précontrainte

Tête de répartition



Base de mesure = 90 mm

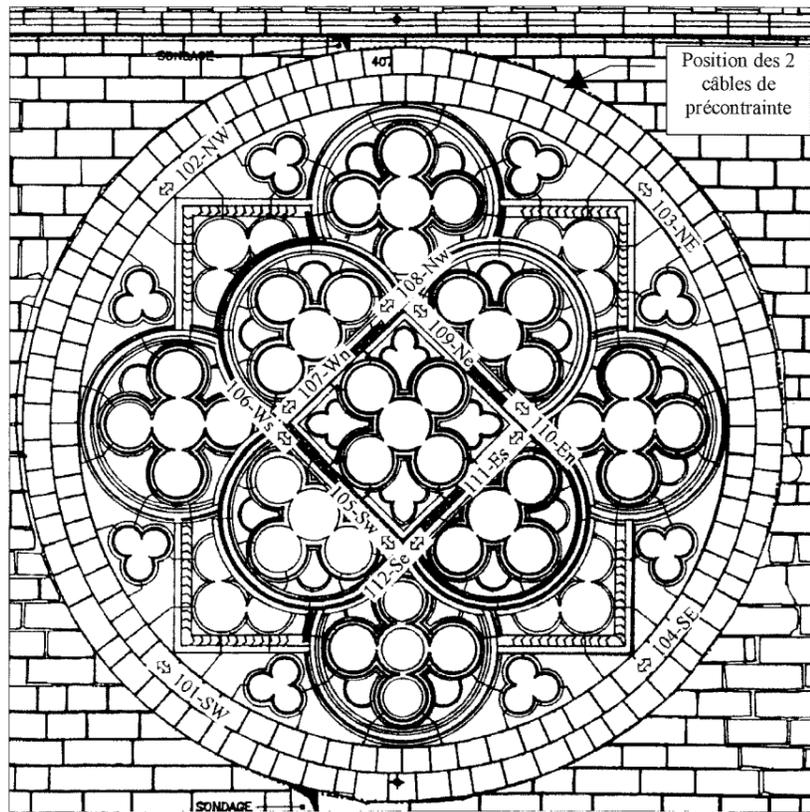
109

Zone entre deux étapes de travail

Détail d'un capteur (système Trevaud)

au long de dernière phase de travail. Compte tenu des efforts introduits (près de 26 tonnes) et des modules d'élasticité différents des pierres de la couronne et de celles du remplage, l'ordre de grandeur des déformations à mesurer était inférieur à 1 micron (1 micron = 0,001mm). Aucun micromètre courant n'est capable d'une telle performance.

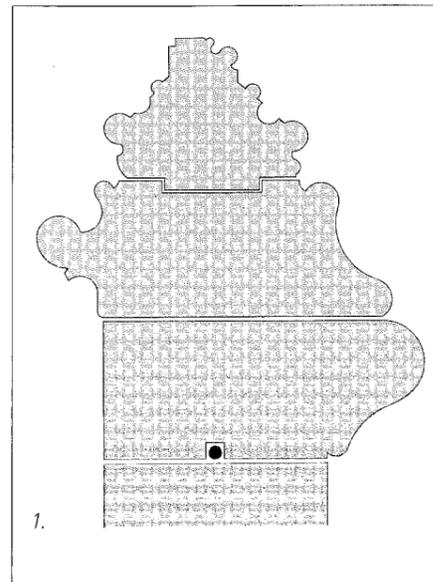
Ce contrôle a pourtant été possible grâce au capteur ultra sensible développé par



l'un des auteurs du présent article. Ce capteur électronique permet de détecter des variations de déformation de l'ordre du centième de micron. Il avait déjà été utilisé avec succès, sous une forme plus rudimentaire, pour des mesures de contraintes "in situ" dans l'un des piliers de la croisée du transept.

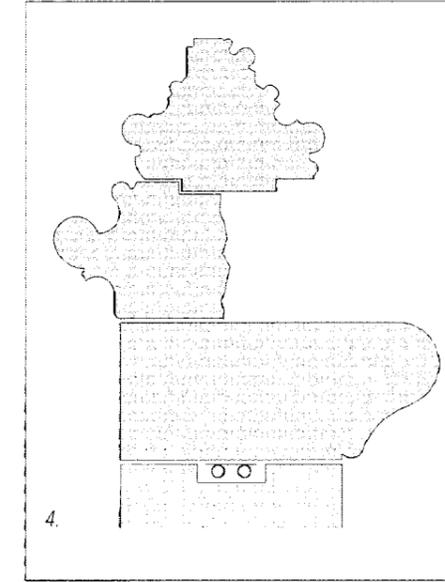
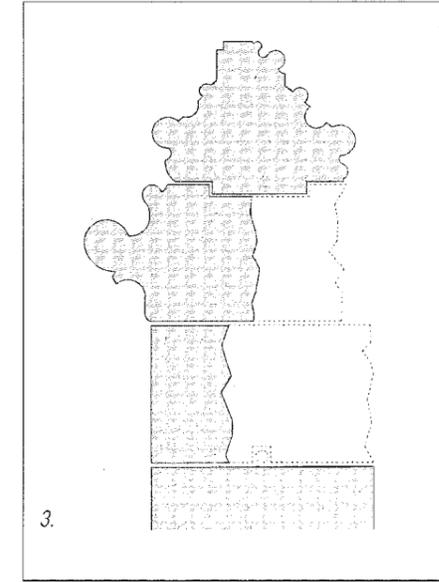
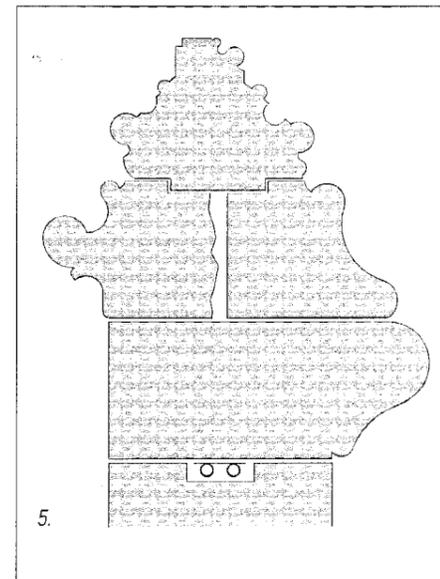
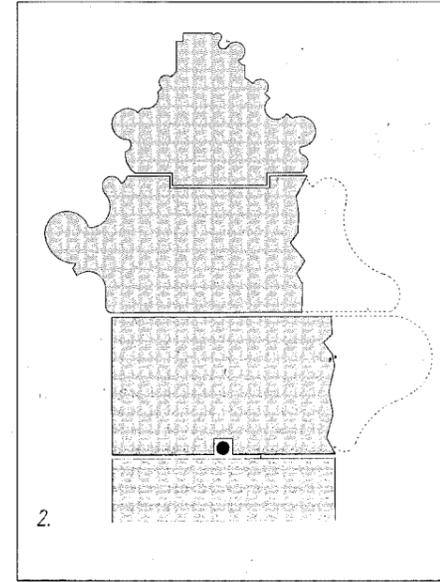
Sur l'ensemble de la rose, 24 capteurs ont ainsi été posés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, 12 sur la couronne et 12 dans les angles du carré intérieur du remplage.

La mesure des déformations est faite sur une base de 90 mm. Les capteurs sont reliés à un enregistreur qui permet la lecture de chaque capteur à raison d'une valeur toutes les secondes. En raison de la sensibilité extrême de ces capteurs, les mesures doivent être effectuées tôt le matin afin de réduire au minimum les dérives dues aux variations de la température intérieure et extérieure. La mise en tension des câbles s'est faite par paliers (5, 10 et 13 tonnes pour chacun des câbles); pour des raisons d'encombrement des vérins dans les niches prévues à cet effet, le câble situé du côté extérieur a été tendu en premier. Parallèlement aux mesures sur place, un calcul statique a été fait pour déterminer les efforts et les contraintes dans les différentes parties testées. Ce calcul, forcément simplifié, ne fait pas intervenir l'entourage de la rose qui a un effet perturbateur difficile à pronostiquer. Par les mesures en place, il est possible de faire la corrélation entre la théorie et la pratique.



Rose vue de l'extérieur, avec position schématique des capteurs

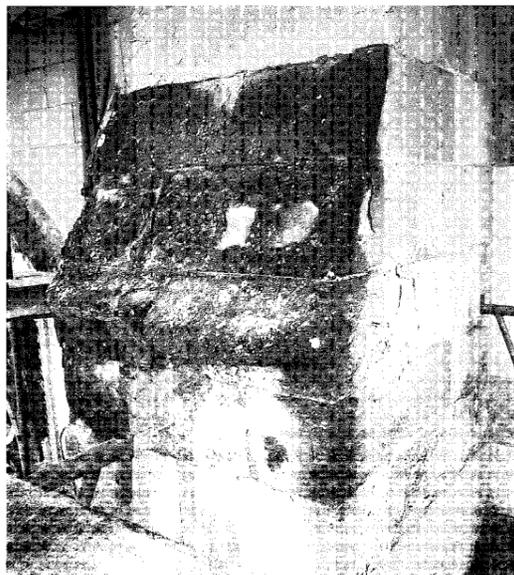
1. Le grand cercle avant travaux
2. arasée des nez extérieurs pour la prise des mesures
3. empochement
4. pose de la gaine du nouveau tirant et renouvellement de l'assise extérieure
5. renouvellement de l'assise intérieure



et d'évaluer d'une manière globale les pertes par frottement, par adhérence de la rose avec son entourage, etc. Les variations théoriques de longueur sous l'effet des contraintes induites par la précontrainte sont de 1.35 micron dans le grès de la couronne et de 1.41 micron dans les éléments du carré central. Ce sont ces valeurs qu'il s'agissait de contrôler. Il est évident que la rose n'allait pas réagir de manière absolument symétrique, d'une part, l'introduction des efforts d'abord du côté extérieur et ensuite du côté intérieur perturbe quelque peu cette symétrie, d'autre part, les effets de différences de température se font sentir. Enfin, la rose n'est pas sortie dans la maçonnerie d'une manière uniforme. Cela se traduit par le fait, par exemple, que les courbes de déformations intérieures sont plus stables que les courbes fournies par les capteurs extérieurs. Les moyennes obtenues pour la couronne extérieure atteignent environ 1,32 micron (le calcul donnait 1,35 micron) et pour le carré central 1,17 micron (contre 1,41 pour le calcul). Cela équivaut donc à une perte de 2% environ dans la couronne et de 17% dans le carré central, ceci par rapport à un calcul théorique. Il est donc actuellement possible de mieux connaître les cheminements des efforts et le comportement réel de la matière, grâce à une technologie de pointe appliquée dans le cadre des structures complexes d'une rose.

René TREYVAUD et Jean-Pierre MARMIER

## MACONNERIE DES PAREMENTS DE FACADE



Etat d'un contrefort à l'ouverture du chantier

Enlèvement de la peau extérieure de pierre

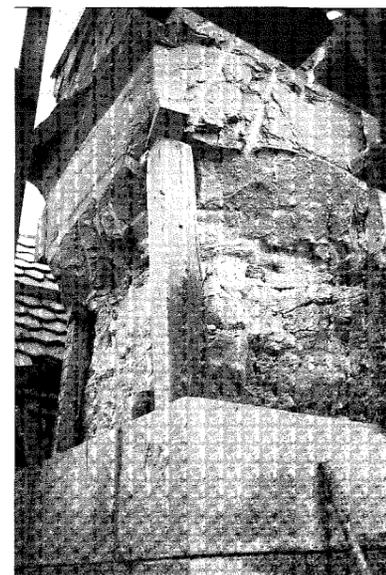
Problèmes de statique et de géotechnique mis à part, le chantier de maçonnerie au pignon sud reste avant tout à la surface des structures, mais une surface traitée comme l'un des éléments constructifs du mur médiéval et, par conséquent, caractéristique de la problématique la plus générale que l'on rencontre à la cathédrale de Lausanne: celle des façades, de leur dégradation progressive, de leur reconstruction périodique. Tous les cas de figure que pose cet aspect de la conservation se retrouvent au pignon sud qui mérite, à ce propos, un bref développement.

### CONSOLIDATION DE PAREMENTS MÉDIÉVAUX.

Dans la moitié inférieure du pignon, celle qui n'a pas été démontée par Eugène Bron en 1907, d'importantes surfaces de parement médiéval subsistent aujourd'hui, parfois retaillées à l'époque bernoise, souvent recouvertes de badigeons dont les couches les plus récentes sont toutes antérieures au milieu du 19<sup>e</sup> siècle. Ces parements scrupuleusement respectés en 1907 ont dans une large mesure résisté jusqu'à nos jours et, bien que légèrement dégradés, sont encore parfaitement conservables, moyennant un léger réagrégage superficiel. Dans les zones dépourvues de polychromies, la consolidation s'est faite par imprégnation d'esters de silice, ou par injection de résines acryliques lorsque la pierre portait encore la trace d'un décor peint, lui-même fixé à cette occasion. Ces parements, dont l'ancienneté extrême est rare à la cathédrale, montrent que certains grès aquitaniens, pour une raison qui mériterait une étude de fond, peuvent présenter une résistance exceptionnelle à l'usure du temps et aux attaques du climat.

### CONSERVATION DES PAREMENTS DE 1906-1909.

Contrairement aux parties inférieures de la façade, pour faciliter sans doute le renouvellement des maçonneries de la rose, la moitié haute du pignon a été entièrement démolie lors du chantier de 1907 puis retaillée dans une famille de grès découverte quelque temps auparavant à Obernkirchen (nord de l'Allemagne) par les responsables de la cathédrale d'alors. Ce grès, très riche en silice, a parfaitement résisté à un siècle de sollicitations atmosphériques, ce qui confirme l'enthousiasme de la Commission technique de l'époque pour cette pierre même si, en vieillissant, sa dureté et sa différence d'avec la molasse s'aperçoivent d'avantage. Les parements du dernier chantier ont donc pu être maintenus en place, jusqu'aux parties les plus délicates des colonnades et de la claire-voie. Ils ont été simplement gommés, lessivés et rejointoyés. Par contre, les attentes placées par Bron dans un grès local (dont on ignore la provenance précise), supposé très résistant parce que très dur à travailler, ont été déçues: employé aux deux rangs de claveaux qui entourent la rose, il s'est entièrement délité et a dû être remplacé. L'intérêt du renouvellement de ces deux cercles est qu'il s'est fait, contrairement au début du siècle, sans démontage du remplage intérieur de la rose, par une sorte reprise en sous-oeuvre «périphérique» qui est le tour de force technique du chantier d'aujourd'hui.



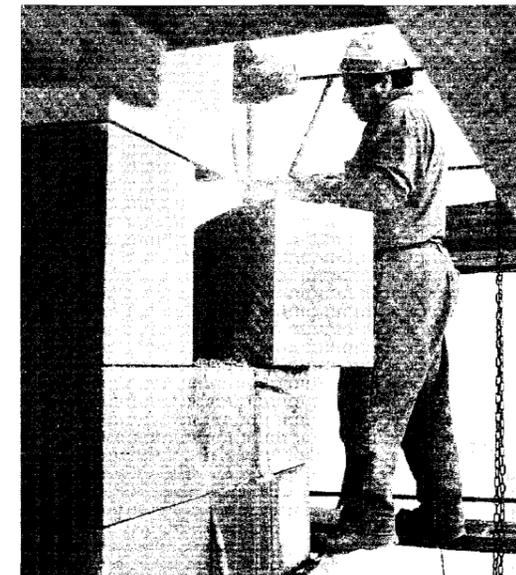
### RENOUVELLEMENT DES PAREMENTS

Le dernier type d'intervention concerne les secteurs où le parement de molasse s'est désagrégé de façon irréversible. Là, la pierre est substituée. Les expériences acquises à la souche de la tour lanterne ont pu être vérifiées et mises à profit. Le piquage se fait bien à une profondeur que nous appellerons «gothique», parce qu'elle touche une couche de pierre complète du mur médiéval, enlevée jusqu'au blocage de mortier intercalé entre parements intérieur et extérieur, soit sur une épaisseur de 15 à 30 centimètres. La division tripartite du mur est donc conservée par ce renouvellement de surface comme si les maîtres d'oeuvre gothiques avaient prévu la nécessité d'un remplacement périodique de la peau extérieure et avaient trouvé le juste dimensionnement pour permettre cette intervention sans affecter la structure interne du mur. Le comportement statique des maçonneries est également maintenu par l'emploi d'un matériaux de remplacement aux propriétés mécaniques voisines de celle du grès aquitainien. C'est ce qui a conduit la Commission technique actuelle, après les recherches épuisantes et quelquefois désordonnées des cent dernières années, à retourner à un grès tendre pour tout ce qui va au fond des façades, ici un banc jaune de Krauchtal dont la coloration s'approche de la pierre lausannoise. Même le renouvellement des faces de contreforts, pourtant sollicités sur deux voir trois parements, se fait en grès tendre. Simplement il se fait sur une profondeur plus grande. L'emploi des grès dur reste limité aux seuls éléments protecteurs de la maçonnerie, comme larmiers, corniches, couvertes, conformément aux leçons constructives inaugurées par Viollet-le-Duc à la cathédrale. La présence simultanée de trois matériaux différents au pignon, les attitudes conservatoires qui en découlent, sous une apparente insignifiance, résument un siècle de choix et de tentatives, celles des Commissions qui depuis 1898 ont repris la cathédrale aux architectes héroïques du 19<sup>e</sup> siècle et y ont imposé une vision pluridisciplinaire moderne.

Christophe AMSLER, architecte

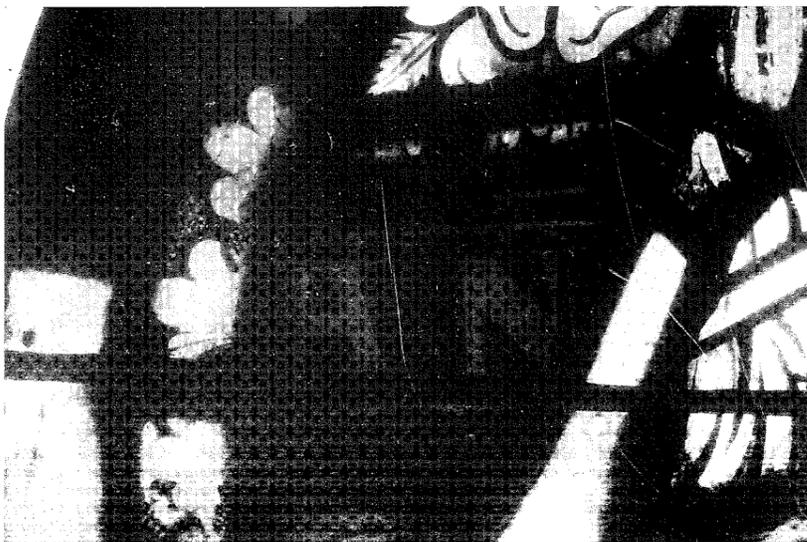
Apparition du blocage à l'arrière des pierres enlevées

Les pierres de remplacement arrivent sur le chantier



Mise en place du nouveau parement

Traitement final de la surface extérieure



CERTITUDES ET DÉBATS ICONOLOGIQUES

Deux tiers des vitraux originaux de la Rose sont conservés. Leur distribution originale et les thèmes des médaillons perdus au courant des siècles anime un débat sur le thème de la Rose depuis plus d'un siècle, débat

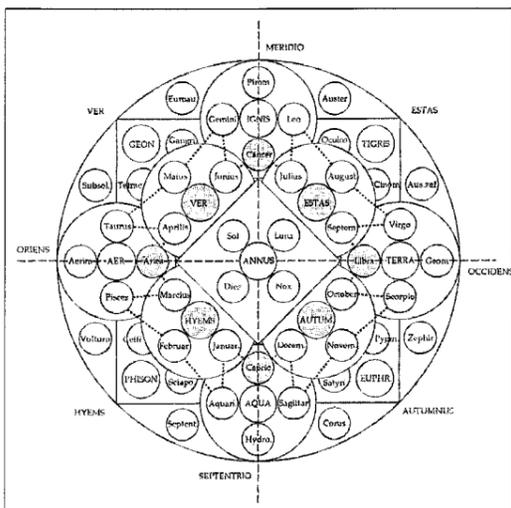
qui s'enflamme lors de chaque restauration offrant la possibilité de changements. Et pourtant, toutes les études consacrées à la Rose sont d'accord sur le message et les thèmes principaux du grand vitrail cosmologique. Les querelles savantes ne concernent que certaines zones de cette image du monde médiéval, notamment les médaillons manquants du centre. Mais c'est là que diffèrent les interprétations, soit principalement cosmologiques (Beer, Kurmann, Trümpler) voir même héliocentriques (Hilton), soit sous la lumière de la création biblique (Rahn, Hosch, Forel, Diserens).

L'iconographie actuelle de la Rose est marquée par l'intervention de la fin du XIXe siècle. Le restaurateur Edouard Hosch a comblé les lacunes dans les entités cosmologiques conservées, sur la base des études de Johann Rudolf Rahn. Il a ajouté le nouveau thème au centre du système, la création du monde.

La conservation actuelle n'y changera rien. Les études iconographiques et historiques qui l'accompagnent ont bien apporté de nouvelles connaissances et des réflexions. Mais elles soulignent la nature hypothétique de toutes les propositions, faute de preuves archéologiques. Devant ces incertitudes, et dans une démarche de principe qui respecte les interventions récentes de restauration, soigneuses et loin d'être arbitraires, on conservera, à la cathédrale de Lausanne, la reconstitution iconographique de la Rose du 19e siècle. D'autant plus qu'elle va main dans la main avec un tiers de sa substance matérielle. Et le remontage interchangeable des vitraux laissera la porte ouverte à des modifications futures...

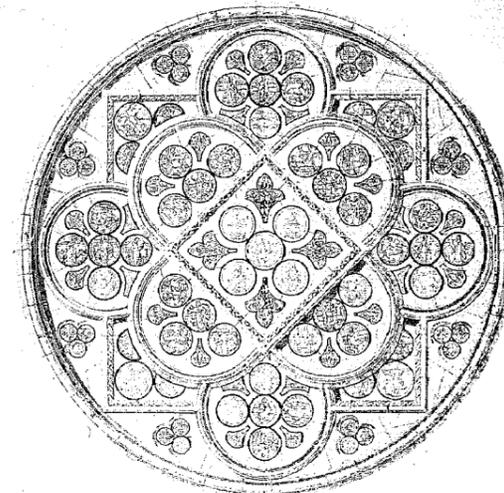
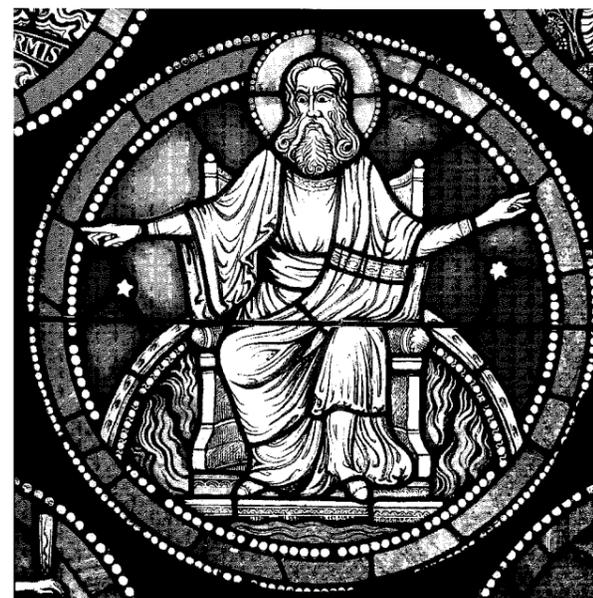
ELEMENTS DE L'ICONOGRAPHIE ORIGINALE

La Rose est composée d'un centre et de deux couronnes de pétales, sous lesquelles apparaissent les pointes de quatre sépales. Une couronne de huit petites rosaces l'entoure. On peut donc s'attendre à cinq groupes iconographiques principaux, que l'on reconnaît parmi les panneaux originaux: les astres (du jour et de la nuit),



Fragment de l'inscription présumée «ANNUS» du vitrail central, utilisé comme bouche-trou dans le vitrail représentant l'Eau, avant la restauration d'Edouard Hosch

Essai de reconstitution de la Rose du 13e siècle basée sur les études de Ellen J. Beer: un système cosmologique en relation étroite avec la topographie de la cathédrale. (Stefan Trümpler)



Dieu le Créateur. Vitrail de Edouard Hosch pour l'ouverture centrale de la Rose

Le programme de la Rose proposé par Johann Rudolf Rahn dans son étude de 1879. Au carré central «Dieu le Père sous l'image du Christ» (Rahn), entouré des quatre Evangélistes

l'année terrestre, le zodiaque, les fleuves du paradis et la rose des vents. S'ajoutent à ceux-ci les quatre éléments avec les quatre sciences divinatoires relatives, ainsi que les monstres. Une hiérarchie iconographique se manifeste dans le diamètre plus grand de certains médaillons situés au centre de chaque partie de la Rose. Ils représentent des thèmes d'ordre supérieur: les quatre saisons (entouré des mois), les éléments (accompagnés des signes du zodiaque et des sciences divinatoires) et les fleuves (avec les monstres qui peuplent leurs rives).

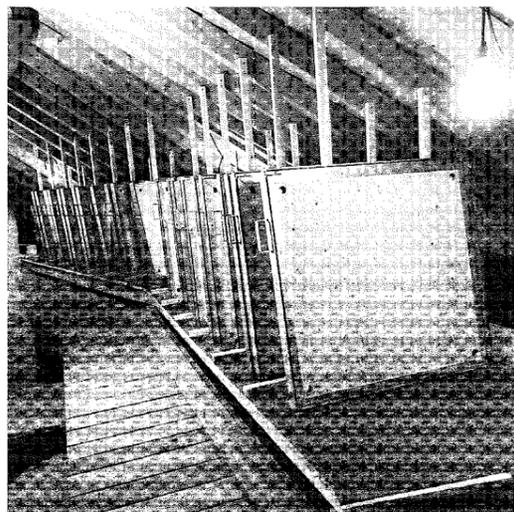
Selon toute vraisemblance, la Rose conservait après la grande restauration de 1817 les caractéristiques principales de la disposition originale de ces thèmes. Il est impensable que son iconographie n'ait pas été respectée au moins dans les grandes lignes à travers les siècles. L'année terrestre était alors représentée dans la première couronne de pétales. Le zodiaque se développait dans la deuxième couronne et entourait les quatre éléments. Les fleuves du paradis se situaient aux pointes des quatre sépales sous-jacents. Le système tournait après 1817 en grande partie dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, avec des exceptions dans le zodiaque. De nombreuses compositions similaires connues du moyen-âge (enluminures, mosaïques, vitraux) favorisent par contre une rotation dans le sens contraire. Souvent elles ne contiennent pas d'images bibliques, mais tournent autour d'une personification centrale "Annus".

Nous supposons aujourd'hui que les références cosmiques et topographiques de la Rose étaient en harmonie parfaite avec l'édifice et son orientation, créant ainsi dans la cathédrale un «microcosme» symbolique du monde. Ce fait remarquable, ainsi que le caractère non religieux de ses images (à première vue, même si l'ensemble était peut-être liée à l'iconographie mariale de cette partie de l'édifice), expliqueraient pourquoi la Rose était, avec quelques fragments d'autres verrières qui y avaient trouvé une place comme bouche-trou, le seul vitrail médiéval conservé à de la cathédrale.

Stefan TRÜMPLER, Stefania GENTILE, Julian JAMES

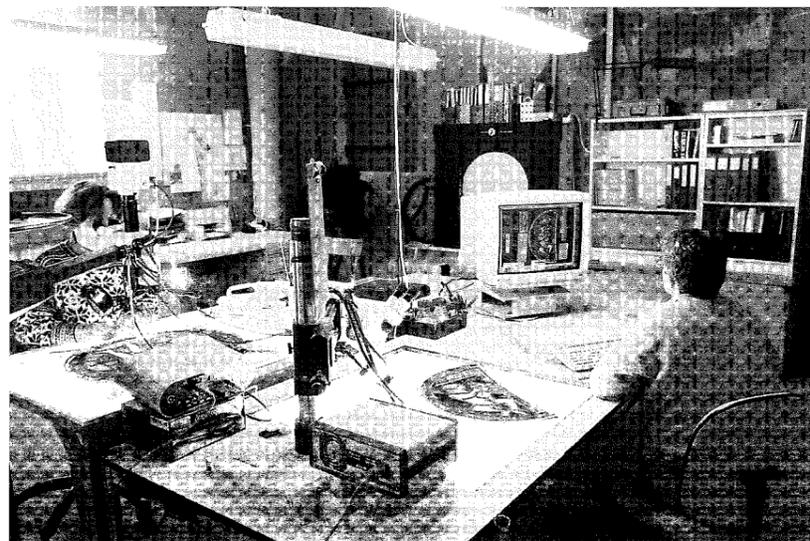
Image cosmologique dans un manuscrit du 12e siècle, proche de la Rose par le contenu et son organisation





*L'atelier de restauration dans la tourelle nord du transept de la Cathédrale*

*Le dépôt des vitraux en caisses sous la toiture du déambulatoire*



**PRINCIPES DE L'INTERVENTION**

L'importance extraordinaire de la Rose en tant que rarissime ensemble de vitraux du XIII<sup>e</sup> siècle en Suisse, mais surtout son état de conservation alarmant lui ont valu une approche particulière. Une équipe pluridisciplinaire de spécialistes du vitrail, de scientifiques, d'historiens et archéologues, d'un climatologue et d'architectes s'est investie dans une recherche préliminaire pointue. Chargé de l'exécution des travaux, le Centre suisse de recherche et d'information sur le vitrail de Romont a constitué une équipe de peintres verriers/restaurateurs de vitraux et de conservateurs/restaurateurs de peintures médiévales, afin de répondre aux exigences particulières de la tâche.

L'action conservatrice principale de la présente campagne consiste à installer des verrières extérieures de protection permettant de maintenir les vitraux *in situ* tout en les abritant des sources principales de dégradation: la pollution atmosphérique et l'humidité, aussi bien extérieure que celle de la condensation à l'intérieur. Les interventions de conservation et de restauration sur les vitraux-même peuvent être ainsi réduites au minimum. Ceci s'est révélé comme un à priori crucial pour la conservation des oeuvres fragiles. Sur la Rose comme sur nombre de vitraux médiévaux, les restaurations antérieures, et notamment les nettoyages excessifs, sont parmi les causes de leur état dégradé. Bien que les altérations touchent presque uniquement les parties du XIII<sup>e</sup> siècle, les interventions de conservation et de restauration doivent tenir compte des ajouts importants, mais aussi des caractéristiques de la dernière restauration.

Dès le début, on a eu pour principe, dans l'organisation des travaux et des recherches, d'entreposer et de traiter les vitraux à la cathédrale même, dans des locaux spécialement aménagés et équipés pour ces tâches.



*L'état du vitrail «ESTAS» selon les documents photographiques de env. 1890, 1940 et 1991 (obscurcissements dû à l'altération des surfaces externes)*

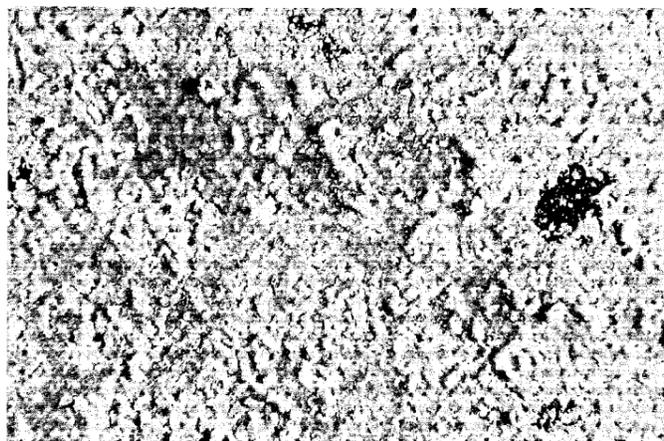
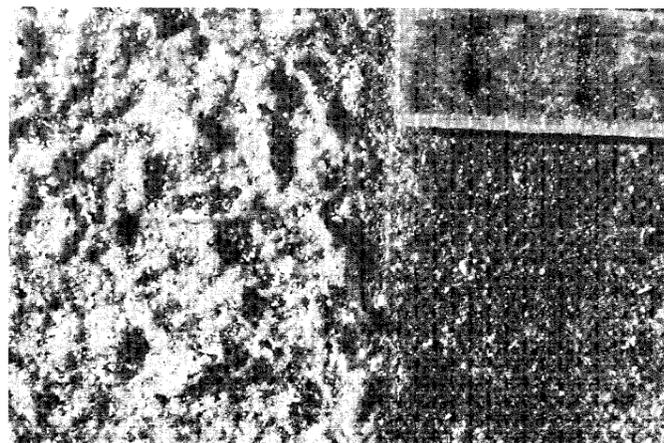
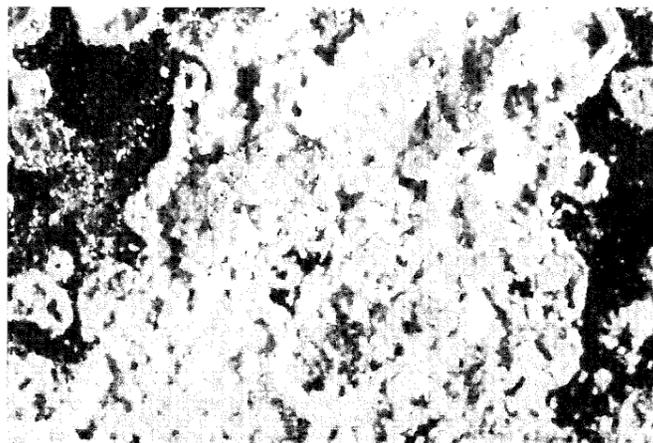
*La face externe du vitrail «ESTAS» avant la restauration*

**HISTORIQUE DE LA CONSERVATION ET ÉTAT ACTUEL DES VITRAUX**

Des réparations "de la fenestre ronde" sont signalées dans des documents du XVI<sup>e</sup> siècle. Les recherches technologiques et historiques actuelles ont mis en évidence une importante restauration exécutée en 1817 par le verrier Monnet, sous la direction de Henri Perregaux. En 1891 les vitraux sont à nouveau déposés en raison de l'état menaçant de la maçonnerie. La deuxième restauration du XIX<sup>e</sup> siècle, réalisée entre 1894 et 1899, est due au peintre-verrier Eduard Hosch. Les vitraux ont repris leur place en 1909, après l'exécution à l'identique d'un nouveau remplage.

La double fonction des vitraux - à la fois motifs peints et éléments architecturaux de fermeture - a été la cause même de leur dégradation: les surfaces extérieures exposées aux intempéries et à la pollution atmosphérique sont soumis à des processus d'altérations chimiques liés à la composition des verres médiévaux, tout comme la pierre ou d'autres matériaux. Sur les vitraux de la Rose, ce phénomène de décomposition du verre se manifeste essentiellement de deux manières: la corrosion en "plaques" et la corrosion en "cratères". L'étude systématique des verres lors de la présente intervention a permis de tracer le développement de ces corrosions qui, dans les phases avancées de dégradation, provoquent la disparition d'importantes





Macrophotographie (x6,3) de la corrosion en cratère sur un verre violet; côté extérieur, avant intervention

Macrophotographie de la corrosion en plaques, avant intervention, sur le revers d'un médaillon

Détail de l'intervention - allègement - d'une corrosion en plaques vu au microscope

Détail au microscope d'une corrosion atypique: mélange entre corrosion en plaques et une corrosion en cratères

portions de la surface du verre. Ces deux phénomènes modifient la lisibilité des images et peuvent mener jusqu'à l'opacification quasi-totale des verres. L'irrégularité dans la présence de corrosions constatée même sur des verres de couleur égale, ne s'explique pas seulement par les différents éléments qui les composent, mais aussi par leur confection et mise en oeuvre, et de l'impact des interventions postérieures.

Sur le côté interne, la présence d'une couche de saleté noire, liée à l'utilisation et au chauffage de la cathédrale, ternit sensiblement les verres. Des corrosions, généralement moins importantes de celles que l'on retrouve sur le côté extérieur, se sont aussi développées à l'intérieur des panneaux, influençant non seulement la lisibilité de l'oeuvre, mais surtout l'état de conservation de la grisaille.

La détérioration de la grisaille - peinture brune fixée par cuisson, principalement sur la face interne des verres colorés - est, sur les vitraux de la Rose, un phénomène récent, qui s'est produit dans un laps de temps très court. Les causes de cette dégradation semblent plus liées à l'altération du support (verre coloré), qu'à la quali-



L'avancement des pertes de grisaille sur un verre du vitrail « PISCIS AQUA » selon les documents photographiques de env. 1890, 1940 et 1991

Trait de grisaille détaché du verre (x6,3)



té de la grisaille: l'eau de condensation présente sur la face interne des verres a conduit à une corrosion du support de la même façon que l'humidité extérieure, ce qui a provoqué le décollement et des pertes de grisaille. L'apparition récente de ces dommages coïncide avec l'adaptation, dans les années soixante, du climat intérieur de la cathédrale aux besoins de l'orgue, avec notamment une augmentation généralisée de l'humidité relative de l'air. L'examen systématique des verres a cependant montré que les problèmes climatiques ne sont pas les seules causes à l'origine des pertes d'adhérence de la grisaille: il s'agit en réalité d'un ensemble d'éléments et de facteurs, étroitement liés entre eux, qui ont influencé l'état de conservation de la peinture. Sur les surfaces de verres peu ou non-corrodées, certains décollements de la grisaille sont tributaires de la technique de confection, - où la température de cuisson joue un rôle essentiel -, tandis que d'autres pertes, ou affaiblissements, de matière picturale se sont produits à la suite d'anciens nettoyages, notamment ceux de 1817.

A côté des phénomènes de dégradation du verre et de la grisaille, de nombreux problèmes liés à la dernière grande restauration d' E. Hosch ont été relevés, notamment l'obscurcissement de certains matériaux non-cuits appliqués par ce restaurateur sur les lavas anciens.

#### LE PROGRAMME ACTUEL DE CONSERVATION

A partir du moment où une partie importante des causes de dégradation est atténuée, voire supprimée par les verrières extérieures de protection, et que les conditions climatiques de la cathédrale ont été adaptées aux exigences de conservation, les interventions sur l'oeuvre ont pu être limitées au strict nécessaire pour sauvegarder la matière existante.

Après un nettoyage superficiel de la saleté qui couvrait les verres et la grisaille, à

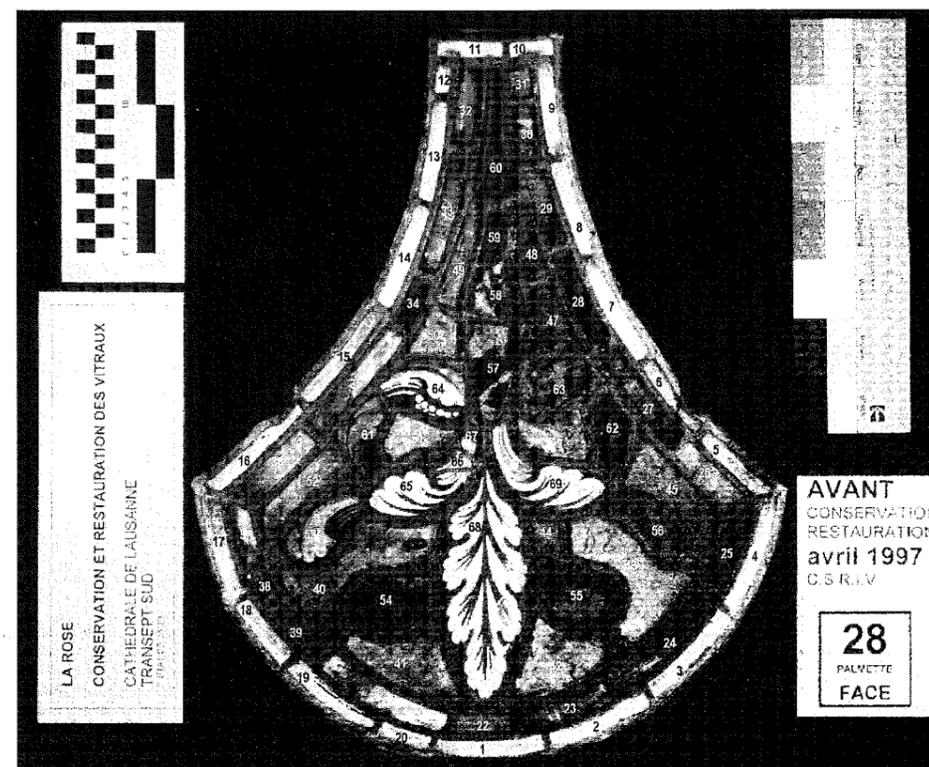


La tête de «GEON» (un des fleuves) avant et après le dépoussiérage de la face interne et l'allègement des couches de corrosion du verre (vue interne et extérieure du vitrail)

l'aide de coton-tiges humidifiés avec de l'eau distillée, on a pu éliminer les excédants de mastic de sertissage et de pose qui débordaient et obscurcissaient les verres. Ensuite, selon l'importance, l'intensité et la gravité des corrosions, nous avons allégé les verres de ses matériaux qui n'avaient plus de cohésion, en veillant à ne pas affaiblir les parties de la zone perturbée qui, elle, présente encore de la matière vitrifiée et joue un rôle protecteur pour la surface sous-jacente: l'utilisation systématique de microscopes a permis d'effectuer un travail avec une marge de sécurité très importante.

Les soulèvements ou détachements de couleur ont été fixés au moyen d'une résine sythétique (PARALOID B72 2,5% en toluène). Ces interventions, documentées d'une manière précise, (comme d'ailleurs toutes les autres interventions), sur des relevés photographiques informatisés, ne visaient qu'à apporter des points de soutiens aux écailles de grisaille les plus menacées, sans pour autant former des films qui pourraient s'avérer trop contraignants pour les fines couches de matière picturale.

Les patines et couches non-cuites apportées par E. Hosch sur les verres d'origine ont généralement été conservées, et ceci malgré un effet obscurcissant parfois important. L'élimination de ces couches et patines, assombries vraisemblablement



Fiche graphique / informatique de la documentation : La numérotation des verres est inscrite sur la photographie de référence prise avant restauration

AVANT  
CONSERVATION  
RESTAURATION  
avril 1997  
C.S.R.V.

28  
PALMETTE  
FACE

Documentation des consolidations de grisaille sur une palmette, par traitement informatique de la photographie de référence

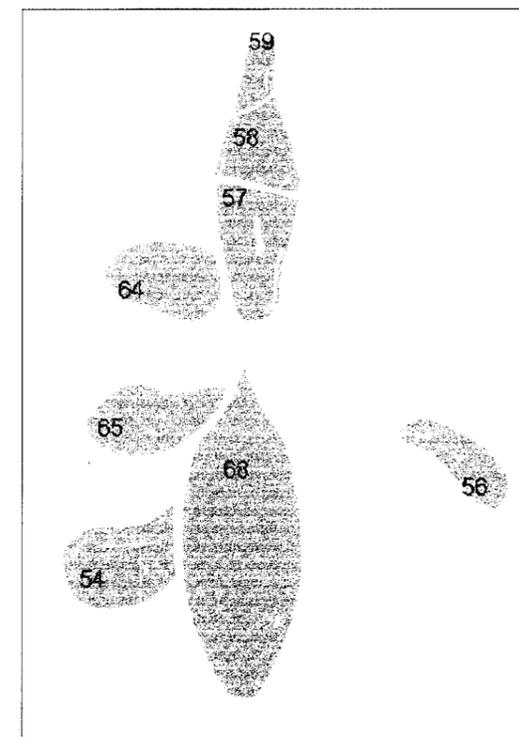
par le vieillissement du liant et par l'accrochage de divers dépôts, aurait provoqué un déséquilibre esthétique trop important entre les verres d'origine et les verres du XIX<sup>e</sup>, et n'aurait pas été possible de manière constante, sans compromettre les conditions de conservation de la grisaille.

#### LA DOCUMENTATION

Au départ, la précieuse documentation écrite et surtout photographique existante sur l'histoire de la Rose a été rassemblée et analysée. Une documentation photographique en noir/blanc et diapositives couleurs fait état des vitraux avant, pendant et après les interventions. Verre par verre, les informations sur la confection, la nature des altérations et le traitement des vitraux sont saisies dans une banque de données informatique. A la documentation de l'état de conservation technologique s'ajoute l'analyse historique des parties originales et des interpolations postérieures. Toutes ces données constituent un fond dont l'exploitation informatique peut compléter de manière plus globale les observations phénoménologiques sur les vitraux. La documentation ne concerne pas seulement la connaissance des vitraux de la Rose sous de multiples aspects, mais permettra, à l'avenir, de suivre et de contrôler l'évolution leur état de conservation.

Les fichiers de texte et graphiques sont établis sur Macintosh, avec les logiciels Microsoft Word, Claris Filemaker, Adobe Illustrator et Photoshop (à partir d'images enregistrées sur CD-ROM). Toute la documentation sera conservée aux archives de la cathédrale. Elle constituera en plus la base de la publication qui sera éditée à l'occasion d'une exposition à la cathédrale sur la Rose et les travaux de conservation.

Stefan TRÜMLER,  
Stefania GENTILE,  
Julian JAMES



#### EXAMEN EN LABORATOIRE DES COUCHES D'ALTÉRATION DES VERRS, DE LA GRISAILLE ET DES DEMI-TONS DE LA ROSE DE LA CATHÉDRALE DE LAUSANNE

En étroite collaboration avec Stéfan Trümpler et le groupe des restaurateurs chargés de la restauration des vitraux de la Rose, nous avons entrepris un certain nombre d'analyses des couches d'altération des verres, de la grisaille et des demi-tons. Pour des raisons déontologiques nous avons renoncé à prélever de la matière originale du verre et nous sommes limités à l'étude de micro-prélèvements en surface. Nous les avons examinés par différentes méthodes (microscopie, spectrométrie de fluorescence X, diffraction de rayons X, microscopie électronique à balayage, microsonde de Castain).

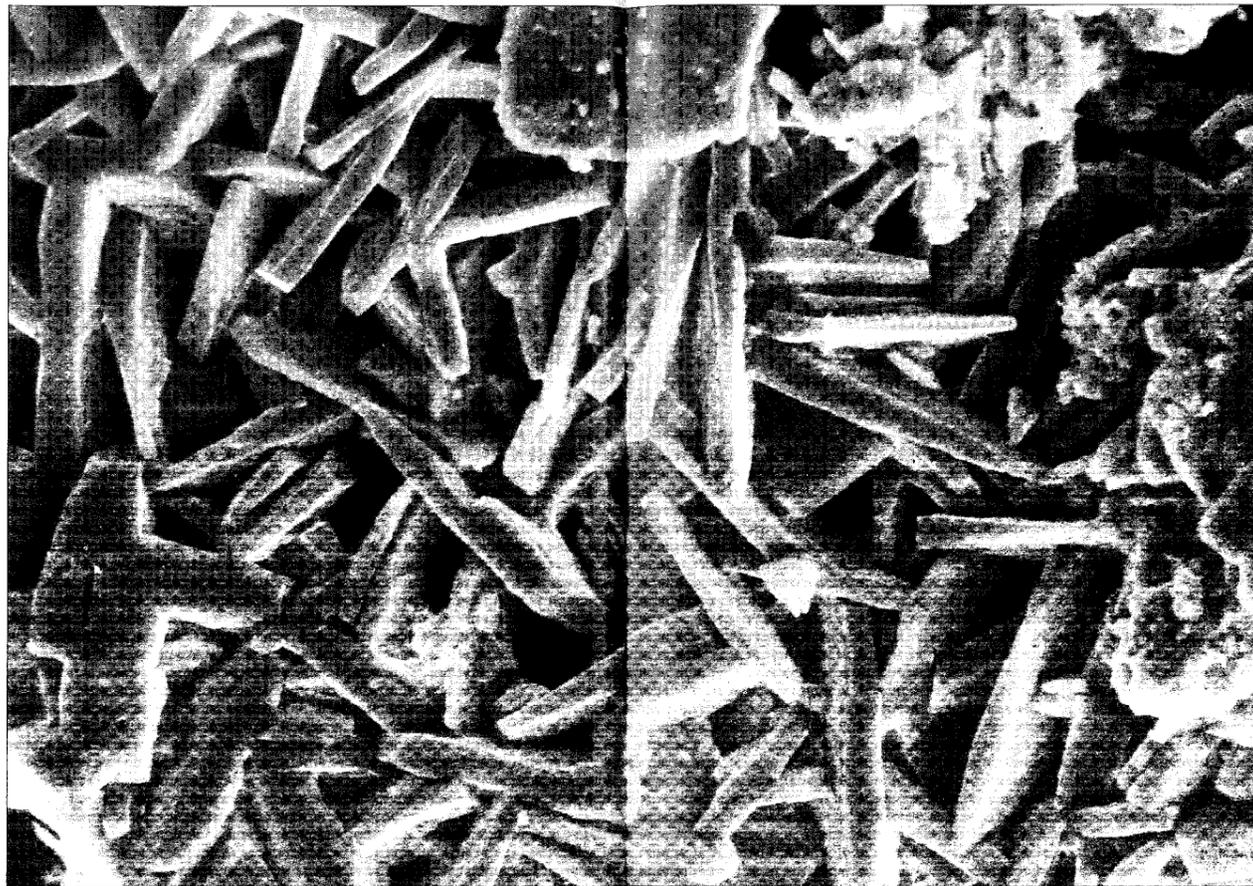
#### LES COUCHES D'ALTÉRATION

Sur la surface extérieure du verre se trouvent des couches cohérentes formées en général de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et de syngénite ( $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Ces couches se sont formées sous l'action de l'eau et de polluants atmosphériques (essentiellement du dioxyde de soufre). Elles sont souvent bien cristallisées (fig.). Sous ces couches cohérentes se trouve en général une zone intermédiaire. Elle est souvent colorée en rouge-violet (par le manganèse contenu dans la masse de verre), et contient des particules de verre, du gypse et des produits siliceux amorphes. Cette couche peut être associée à celle dite de "gel" qui forme l'interface entre le verre sain et les couches de corrosion. Cette zone représente le début de la corrosion du verre par l'action de l'eau.

Plusieurs verres contiennent des surfaces attaquées par une corrosion dite "en cratères". Ces cratères sont colorés en violet à l'intérieur. L'analyse montre que les produits d'altération dans les cratères sont du gypse et de la syngénite et que la coloration est due à l'oxydation du manganèse.

#### GRISAILLE

La grisaille est constituée d'un verre plombifère coloré essentiellement à l'oxyde de fer. La grisaille contient entre 60-80 % de silice, 10-15 % d'oxyde de plomb, 5-10 % d'oxyde de calcium, 5-10 % d'oxyde de fer, 3-5 % d'oxyde de potassium et de faibles quantités d'oxyde de cuivre. L'épaisseur des grisailles est très faible, elle mesure entre 0.06 à 0.3 mm. Leur structure est très poreuse. De manière générale, la grisaille n'a pas subi une corrosion sur toute son épaisseur. Il semble toutefois que la "soudure vitreuse" entre elle et le verre ne soit plus assez forte. Nous pensons que l'eau de condensation se déposant sur la face intérieure des vitraux a attaqué la zone entre le verre et la grisaille provoquant ainsi le détachement de celle-ci.



Surface de la couche de corrosion sur la face extérieure du médaillon 23 « AUTUMNUS ». Des cristaux de gypse se sont formés sous l'action de l'eau et de polluants atmosphériques. Microscopie électronique à balayage, agrandissement 700 x, Jean Wuest, Muséum Genève

#### DEMI-TONS

Les demi-tons sont d'une finesse extrême. Ils ne mesurent pas plus de 0.005 à 0.015 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un verre plombifère coloré à l'oxyde de fer. De nature très hétérogène les demi-tons ont une structure très poreuse. Leur faible adhésion à certains endroits provient probablement d'une attaque de la zone intermédiaire entre eux et le verre par l'eau de condensation. Actuellement, il n'est pas possible de se prononcer jusqu'à quel degré des restes de mastic de vitrier présents sur les surfaces des verres ont contribué à leur détachement.

François SCHWEIZER, *Laboratoire de recherche des Musées d'art et d'histoire, Genève*

#### ANALYSE DES MATIÈRES ORGANIQUES

Dans le cadre des investigations scientifiques sur les matériaux organiques des vitraux de la Rose, le Laboratoire de Conservation de la Pierre avait déjà mis en évidence en 1996 la présence de substances grasses et protéiques.

L'analyse des *matières grasses* nous avait permis de mettre en évidence la présence de l'oeuf et d'exclure celle d'une huile siccatrice par l'absence (ou la présence en très faibles quantités) de l'acide azélaïque, composé typique des huiles siccatrices dérivant de la destruction du feuillet.

Par contre, l'analyse des *matières protéiques* s'était révélée décevante car, sur les quinze analyses effectuées, trois seulement avaient fourni des résultats interprétables qui confirmaient la pré-

sence de l'oeuf.

Les faibles quantités de matière à disposition ont limité l'analyse à ces deux familles de substances organiques, ce qui nous a empêché de poursuivre les investigations dans le but de détecter l'éventuelle présence de gommes et/ou de résines végétales.

En mai 1996, sur la base d'une comparaison de nos résultats avec ceux de diverses substances de référence analysées par le laboratoire du Getty Conservation Institute - Los Angeles, nous avons pu relever que les couches picturales des vitraux de la Rose pourraient contenir des substances végétales. Malheureusement, la composition hypothétique calculée pour les trois échantillons analysés ne permet de tirer aucune conclusion sur les substances susceptibles de se trouver dans les fragments. Les analyses actuellement en cours devraient apporter des renseignements complémentaires nous permettant de mieux répondre aux questions soulevées par les responsables de la restauration.

Renato PANCELLA, *Expert-center pour la conservation du patrimoine bâti*

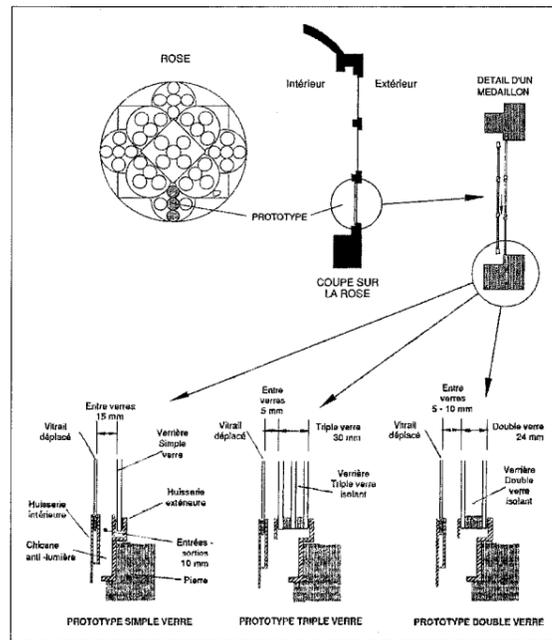
CONDITIONS CLIMATIQUES DES VERRIERES AVANT DEPOSE

Afin de cerner le comportement physique de la cathédrale dans différentes situations climatiques, des mesures ont été effectuées en diverses parties de l'édifice durant une année, le climat extérieur étant relevé parallèlement.

Pour la rose, ont été mesurées: la température et l'humidité de l'air intérieur devant la rose, la température de surface intérieure du verre de quatre médaillons, la présence de condensation sur le verre de deux médaillons et la température de l'air de la couche limite extérieure de la rose. Les mesures de la période hivernale ont permis de tirer les conclusions suivantes:

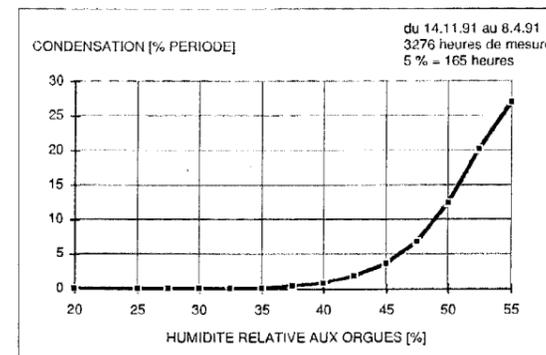
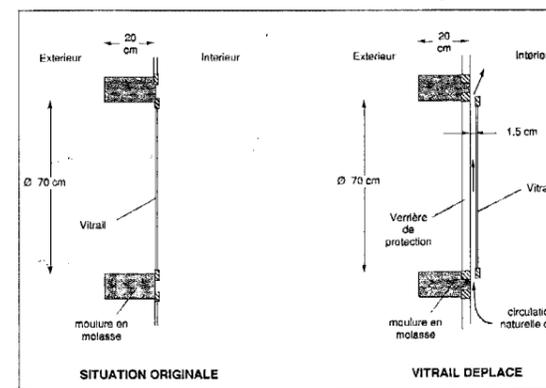
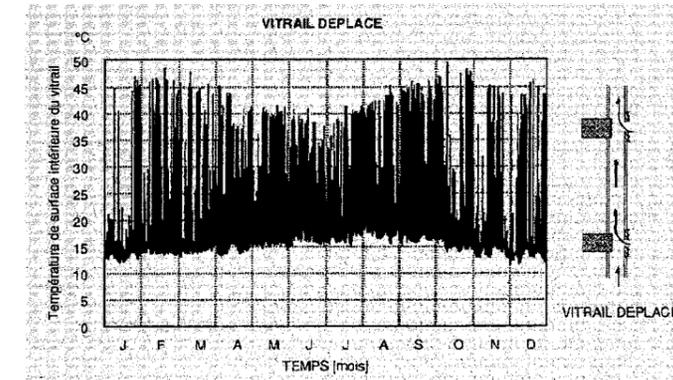
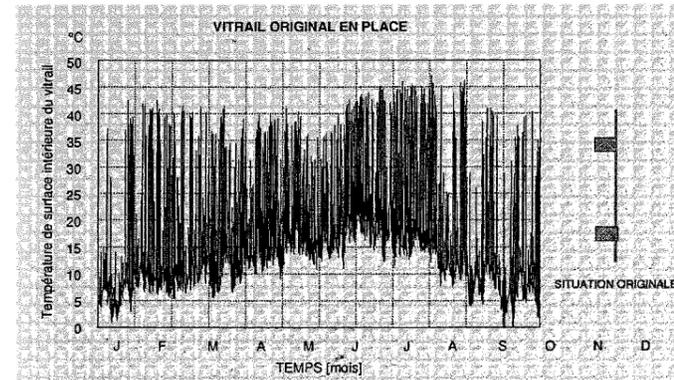
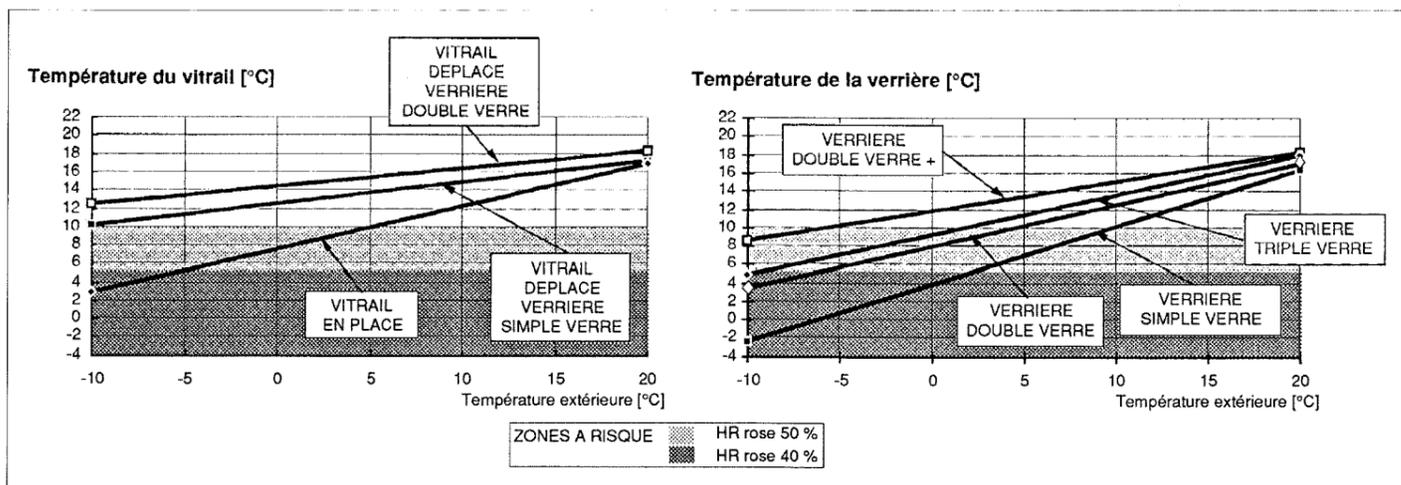
- l'amplitude de la température des verres sur une journée ensoleillée est de l'ordre de 40 °C: l'inertie du vitrail est faible, son coefficient d'absorption du rayonnement élevé (> 80%)
- la condensation à la surface intérieure du verre s'est produite durant 5 à 6 % de la période froide (novembre à avril). Cette faible durée de condensation s'explique par un taux d'humidité de l'air intérieur inférieur à 50 % durant 65 % de la période. Si l'humidité relative de l'air de 50 %, demandée pour le bon fonctionnement des orgues, avait été garantie durant toute la période, la durée de condensation aurait atteint 30 % de la période (980 heures).

Pour supprimer les risques de condensation, la température de rosée de l'air intérieur de la cathédrale doit être abaissée sans diminuer la température de surface du vitrail, c'est-à-dire faire descendre le taux d'humidité de l'air ambiant. Une tentative d'humidification locale des orgues a été faite, permettant de baisser le point de consigne de l'humidification générale à 40 %, sans trop de dommages pour l'instrument. Cette opération a réduit le nombre d'heures de condensation sur la rose.



Coupe schématique sur les prototypes testés : l'essai portait sur 3 médaillons au bas de la Rose. Trois types de verres ont été testés sous l'aspect thermique; simple verre, verre isolant double et triple. L'influence de la distance entre la verrière et le vitrail déplacé a aussi été évaluée

Température de surface du vitrail en place et déplacé, ainsi que de différentes verrières de protection en fonction de la température extérieure, en l'absence de soleil. (Température de la cathédrale : 18°C), 1992 - 1994



Durée de condensation sur la face interne du vitrail en fonction de l'humidité relative de l'air intérieur de la cathédrale

PRINCIPE CLIMATOLOGIQUE

La solution permettant de protéger les verres médiévaux des agents agressifs extérieurs en même temps que des condensations intérieures est de translater vers le dedans les verrières originales et de mettre dans la feuillure libérée par cette translation un verre isolant de protection. Les deux faces du vitrail ainsi déplacé sont dès lors plongées dans un même climat (climat intérieur) tout en étant protégées des atteintes extérieures.

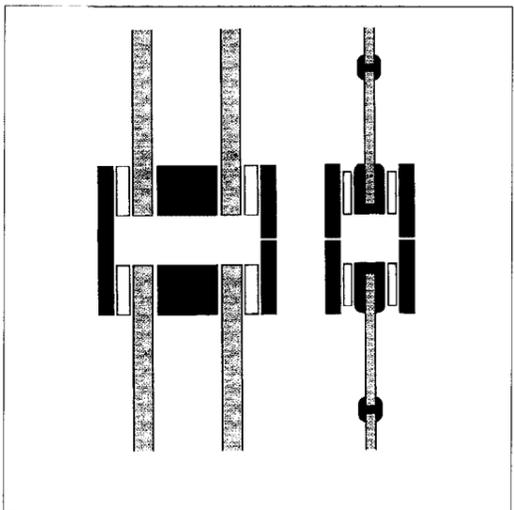
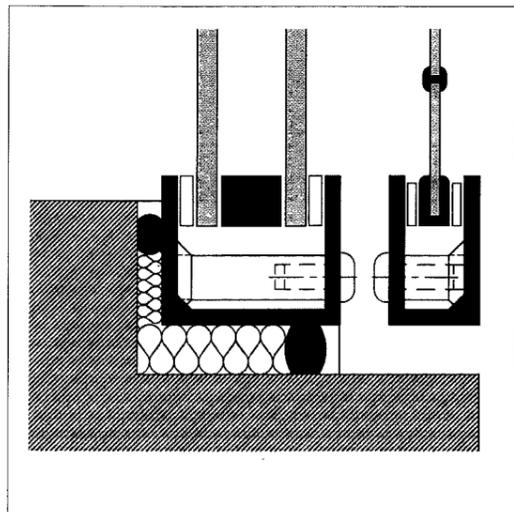
Le vitrail déplacé ne condense plus car la fonction d'interface entre intérieur et extérieur est assurée désormais par la verrière de protection. La circulation d'air entre le vitrail et la verrière limite, en été, la température maximale du vitrail et, en hiver, la température minimale de la verrière.

Un prototype a été mis au point durant l'hiver 1991-1992, afin d'expérimenter le dispositif envisagé en situation réelle dans le cadre des études préparatoires au chantier. Après dépose de trois médaillons dans le bas de la rose, une serrurerie porteuse réglable a été mise en place, munie de vitraux tests spécialement conçus à cet effet. Ce prototype a permis d'étudier les aspects climatiques et visuels du déplacement.

Trois types de verre ont été étudiés sous l'angle thermique: simple verre, verre isolant double et triple. L'influence de la distance entre la verrière et le vitrail déplacé a aussi été évaluée.

La température de surface du vitrail ne devrait pas descendre en dessous de 10°C ou de 5°C (selon que l'humidité de l'air de la cathédrale est de 50%, respectivement de 40% en hiver). Cette limite n'est jamais atteinte avec le vitrail déplacé. Le taux d'humidité intérieure en hiver est défini par les orgues (40 à 50%).

Toutes les verrières offrent une protection suffisante au vitrail (aucune condensation). Le problème est celui de la condensation sur la verrière elle-même. La configuration de la rose (plus de 100 médaillons isolés) ne permet pas une récolte de l'eau de condensation qui ruissellera sur la pierre (dégradation à long terme). Il faut donc éviter une trop forte condensation sur la verrière. La solution adoptée après expérimentation de plusieurs vitrages est celle du double vitrage isolant,



Profils type  
Intersection de deux médaillons



diminuant considérablement les périodes de condensation, sans présenter la surépaisseur du triple vitrage.

#### DETAIL ET REALISATION

Le prototype a permis d'autre part de vérifier le détail constructif des nouvelles serrureries. L'espace minimum entre les deux couches de vitrage a été fixé à 10 mm pour assurer une bonne ventilation de l'espace intercalaire. Il a été décidé également que la section maximale des nouveaux fers ne dépasserait pas celle des anciennes serrureries, afin de ne pas alourdir l'élévation générale de la rose. La modification des serrureries ne se fait donc qu'en profondeur. Pour abriter cette nouvelle épaisseur, et ne pas changer le nu intérieur du vitrail, les feuillures du remplage de 1908 ont été approfondies de 4 cm environ. La face extérieure des verrières est donc déplacée vers le dehors: elle laissera désormais une jouée de 6 centimètres, contre 11 centimètres chez Bron et 8 pour le remplage médiéval.

Pour éviter tout risque de corrosion lors des éventuelles périodes de condensation sur la verrière de protection, les serrureries extérieures ont été exécutées en acier inoxydable. La fixation des différents corps métalliques entre eux a été étudiée en tenant compte des futurs scénarios d'intervention: en cas de dépose des vitraux, seules les fixations qui lient la serrurerie du vitrail à la serrurerie dormante sont visibles évitant toute confusion qui serait désastreuse pour le verrier chargé d'une manutention à plus de 20 mètres du sol... Les médaillons déposés restent par ailleurs pris dans leurs serrureries jusque dans les caisses d'entreposage, et doivent être retournés pour que le feuillard qui les retient puisse être démonté.

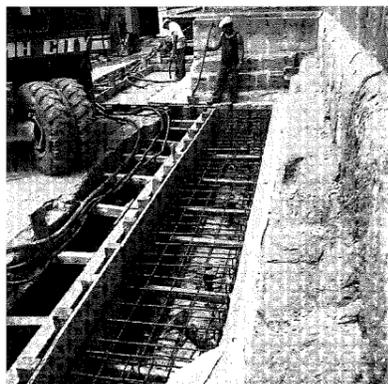
La détermination du rayon des nouvelles serrureries mérite quelque explication. Les médaillons, qu'ils soient médiévaux ou de la dernière restauration, présentent en



effet des dimensions très variables, des irrégularités de forme issues de fluages plus ou moins marqués, d'accidents mécaniques, de déformations de toute nature et de toute origine: aucun médaillon n'est véritablement circulaire ni véritablement plan. Dans le dimensionnement des nouvelles serrureries, le caractère aléatoire de ces fluctuations parfois infimes a été dépassé. Un relevé de tous les médaillons a fait apparaître en effet deux familles principales de rayons, correspondant aux deux dimensions de jour relevées dans le remplage médiéval de la rose. La première mesure s'applique aux verrières centrales des différents groupes de médaillons, le second, légèrement plus petit (de ca 5 cm) aux médaillons périphériques de ces mêmes groupes. Cela vaut également pour le carré central, qui n'introduit aucune nouvelle dimension. Ces deux familles de rayon sont donc directement liées à la composition de la rose et à sa signification. Ce sont elles qui ont servi de base au dimensionnement des nouvelles serrureries. Pour chaque famille, le plus grand axe relevé a été pris comme mesure de base: les nouveaux feuillards fonctionnent par conséquent comme autant de cercles «capables» de toutes les verrières de chacune des deux familles médiévales.

Les médaillons sont désormais interchangeables à l'intérieur de leur famille... Pour la première fois, une intervention ne figera pas la distribution des vitraux, même si elle reprend aujourd'hui la disposition conçue par Johann-Rudolph Rahn et Edouard Hosch. Ce qui n'est pas indifférent dans le contexte encore mal résolu de leurs emplacements originaires.

Christophe AMSLER, Antoine GRAF,  
Dominique CHUARD



*Coffrage de la longrine*

**1995** mars

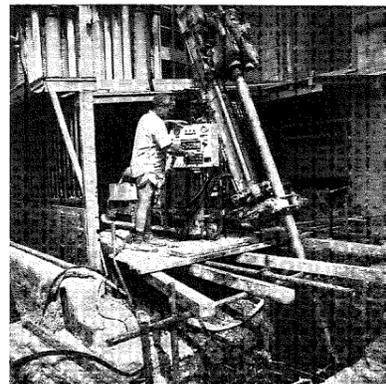
Montage des installations de chantier au pied de la zone sud-est de la cathédrale. Première étape des travaux de consolidation du sol par forage de micro-pieux, depuis le sol existant.

avril

Parallèlement aux forages, fouille archéologique de l'ancienne chapelle Menthonnay, entre portail peint et transept.

mai

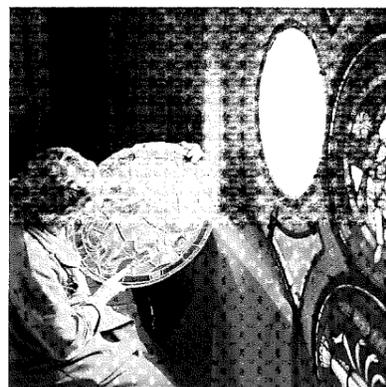
La première série de micro-pieux en place, exécution d'un terrassement préalable, qui voit la démolition du muret de soutènement de la banquette située entre portail peint et sacristie. Après enlèvement des remblais récents, les archéologues fouillent toute la zone.



*Forage d'un micro-pieu*

juin

Les archéologues médiévistes laissent la place aux préhistoriens pour la fouille des couches les plus profondes. Après achèvement du terrassement, sol et fondations médiévales sont protégées par une couche de béton poreux. Les pieux sont recépés et munis d'une tête. Une longrine de liaison des pieux est alors réalisée.



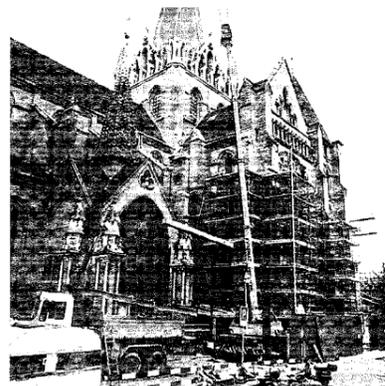
*Dépose d'un médaillon*

juillet

Réalisation de la seconde étape de micro-pieux dans le secteur de la chapelle Menthonnay.

août

Réalisation de la seconde étape de longrine de fondation. Les drainages sont complétés. Un remblayage partiel est réalisé pour donner une assise aux échafaudages.



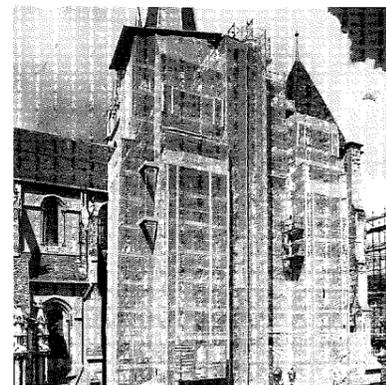
*Mise en place de l'échafaudage*

septembre

Dépose des vitraux de la rose, et mise en caisses. L'atelier de restauration est aménagé dans la chapelle haute nord du transept, complété par un dépôt pour les caisses dans le comble du déambulatoire.

octobre

Dépose des serrureries de la rose. Les jours sont obturés provisoirement avec des verres. L'équipe de restau-



*Echafaudage extérieur terminé*

ration des vitraux lance une phase d'étude des techniques de restauration.

novembre

Début du montage des échafaudages extérieurs. Un filet décoratif recouvre l'échafaudage intérieur et diffuse la lumière désormais blanche de la rose.

décembre

Pose d'un étayage métallique sur l'échafaudage extérieur en cours de montage, destiné à garantir la tenue des maçonneries lors des opérations sur l'entourage de la rose.

**1996** janvier

Poursuite du montage de l'échafaudage extérieur. Pose d'une deuxième nappe d'étais métalliques.

février

Mise en place d'une exposition expliquant le chantier dans la chapelle de la Vierge.



*Pose d'une chaîne d'angle de contrefort*

mars

Achèvement de l'échafaudage extérieur et début des travaux de taille des pierre.

Dépose du pinacle des contreforts ouest, et forage de percements pour la mise en place d'un nouveau tirant vertical dans l'angle sud-ouest du transept. Renouvellement des parements, en parallèle sur les contreforts Est et Ouest. Le serrurier prend les gabarits des vides de lumière de la rose, en vue de la fabrication des nouvelles serrureries.

avril

Mise en place de câbles reliant les différents profilés du dispositif d'étayage.

mai

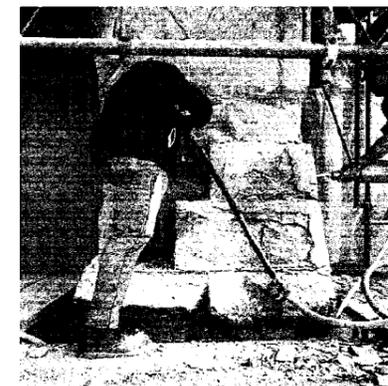
Colloque international sur la restauration des vitraux. Les techniques proposées sont arrêtées. Les travaux de restauration des 105 médaillons commencent.

juillet

Repose du pinacle des contreforts Ouest. La plus grande partie des parements de contreforts sont renouvelés.

août

Nettoyage et réfections des joints des maçonneries de la partie supérieure du pignon.



*Empochement d'un renvoi d'eau de contrefort*

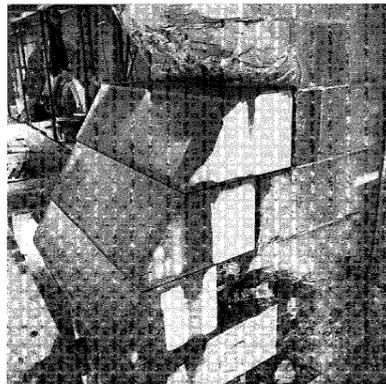
Passage du coup d'outil aux contreforts, reparoir et ciselures.

septembre

Démontage de la partie sommitale de l'échafaudage. Amélioration du confinement de la zone de l'échafaudage intérieur, en vue des travaux sur le remplage de la rose.

octobre

Joints de finitions aux contreforts.



Nouveau renvoi d'eau en place

**novembre**

Fermeture du chantier extérieur pour l'hiver. La restauration des vitraux se poursuit, ainsi que la fabrication des serrureries.

**1997 mars**

Premiers essais en vue de l'adaptation des battues du remplage de la rose aux nouvelles serrureries.

**avril**

Arasées des moulures extérieures du grand cercle entourant la rose, et prise des gabarits de taille. Renouvellements ponctuels aux parements de contreforts.

**mai**

Adaptation des battues du remplage de la rose aux nouvelles serrureries. A cause de la très forte teneur en silice de la poussière de taille, les



Retaille des battues du remplage de la Rose

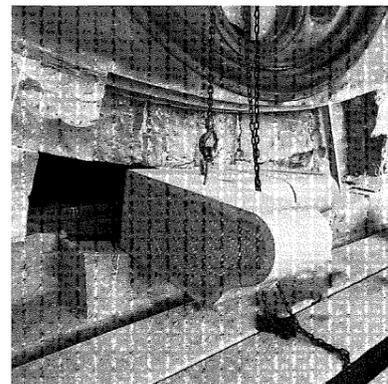
ouvriers travaillent avec un masque respiratoire. La zone de l'échafaudage intérieur est équipé d'une aspiration qui la met en dépression.

**juin**

Renouvellement des deux assises formant le cercle entourant la rose, par petites étapes symétriques, de bas en haut du cercle. La gaine pour le nouveau tirant périphérique est intercalée lors de chaque étape. Les claveaux sont posés à sec, les joints coulés au plâtre.

**juillet**

Le tiers inférieur du cercle est renouvelé. Les deux câbles de précontrainte sont tirés dans les gaines de cette première étape.



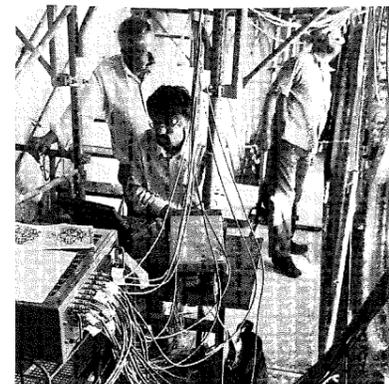
Renouvellement du cercle de la Rose

**septembre**

Démontage des échafaudages posés sur la toiture du transept. Renouvellement des parements du contrefort arrière situé à l'ouest du pignon. Après le renouvellement des claveaux du cercle autour de la rose, les deux câbles restants sont mis en place. Les vestiges de polychromie présents dans le bas de la face, sous la rose, sont consolidés et fixés, en vue du renouvellement des larmiers cintrés des baies inférieures.

**octobre**

Réfection de la couverture du transept sud. Une saignée est taillée à l'arrière du pignon, destinée à recevoir les ferblanterie de couloir. Les charpentiers refont à neuf le support d'encaissement du pan Est. La panne faîtière est contrôlée. Les tirants périphériques de la rose sont mis en tension, opération mesurée en temps réel



Mise en tension du cercle de la Rose

grâce à des capteurs ultra sensibles. Deux tours d'échafaudage sont montées dans la cathédrale, et les câbles d'étagage du pignon déposés. Les parements autour de la rose sont partiellement renouvelés.

**novembre**

Gommage de l'extérieur du remplage de la rose, et réfection des joints. Pose des nouveaux cadres de serrurerie extérieurs de la rose.

**décembre**

Livraison des cadres de serrurerie intérieurs, dans lesquels les vitraux vont être enchâssés.



Réfection de la couverture

**1998 janvier**

Masticage des cadres extérieurs et pose des verres. Les bâches intérieures de l'échafaudage sont déposées et toute la zone dépoussiérée. Les vitraux de Hosch, nettoyés et contrôlés, sont sertis dans leurs cadres de serrurerie, suivis par les vitraux médiévaux.

**février**

Les vitraux, dans leurs nouvelles serrureries sont progressivement remis en place à la rose. L'échafaudage extérieur est démonté, sauf le pied de la face, sous la rose. Les éléments de l'étagage du pignon, laissés en attente sur les ponts, sont évacués.

**mars**

Suite du renouvellement du renvoi d'eau cintré des baies inférieures de la face, puis renouvellement des tablettes. Suite de la consolidation des vestiges de polychromie présents dans le bas de la face. Démontage des échafaudages intérieurs.

**avril**

Cérémonie d'inauguration.



Pose des nouvelles serrureries de la Rose

**juin\***

Démontage du solde des échafaudages. Démontage du couvert de chantier à côté du portail peint. Fermeture de la fosse de la chapelle Menthonay. Reconstruction du muret de soutènement de la banquette, entre portail peint et sacristie, et remblayage.

**juillet**

Démontage des installations de chantier et remise en état des abords.

**décembre**

décompte final et dossiers de bouclage des travaux.

Antoine GRAF

\* les dates imprimées en italique indiquent le calendrier probable des dernières étapes du chantier.

## COÛT DE L'OPERATION

<b>CFC 1 TRAVAUX PREPARATOIRES</b>		<b>676'600.-</b>	<b>12.13%</b>
101	Relevés, documentation	72'200.-	1.29 %
	- mise à jour des relevés zone croisée (coût probable)	350'000.-	6.27 %
104	Pose témoins - contrôle	40'000.-	0.72 %
171	Micro-pieux	91'200.-	1.64 %
192	Ingénieur civil	15'600.-	0.28 %
196	Spécialistes	107'600.-	1.93 %
<b>CFC 2 BATIMENT</b>		<b>4'712'900.-</b>	<b>84.5%</b>
211.1	Echafaudages	257'600.-	4.62 %
211.6	Maçonnerie, installations de chantier	187'500.-	3.36 %
	- remise en état des abords (coût probable)	100'000.-	1.79 %
214	Charpente bois	5'300.-	0.10 %
216	Pierre naturelle	1'276'600.-	22.89 %
	- étape inférieure (coût probable)	295'000.-	5.29 %
221.3	Serrureries métalliques	444'700.-	7.97 %
221.9	Restauration des vitraux	1'029'400.-	18.46 %
	- étape inférieure (coût probable)	30'000.-	0.54 %
224	Couverture	44'700.-	0.80 %
227	Traitement de surfaces extérieures	44'300.-	0.79 %
	- étape inférieure (coût probable)	100'000.-	1.79 %
232	Installation courant fort	15'000.-	0.27 %
237	Dispositifs de sécurité	8'300.-	0.15 %
285.1	Peinture intérieure	5'500.-	0.10 %
291	Architecte	608'000.-	10.90 %
292	Ingénieur civil	119'500.-	2.14 %
294	Ingénieur CVC	32'000.-	0.57 %
296	Spécialistes	104'000.-	1.87 %
297	Experts	5'500.-	0.10 %
<b>CFC 5 FRAIS SECONDAIRES</b>		<b>187'800.-</b>	<b>3.37%</b>
521	Echantillons, essais, matériaux	4'700.-	0.08 %
524	Reproduction de documents, tirages	26'000.-	0.47 %
526	Rapport final	40'000.-	0.72 %
	- exposition finale (coût probable)	50'000.-	0.90 %
527	Insertions, annonces	200.-	0.00 %
566	Première pierre, bouquet	10'000.-	0.18 %
568	Panneaux publicitaires	10'900.-	0.20 %
579	Divers (% culturel)	0.-	0.00 %
583	Divers et imprévus dernières étapes	46'000.-	0.82 %
<b>TOTAL DES TRAVAUX</b>		<b>5'577'300.-</b>	<b>100,00%</b>

\* Les montants indiqués en italique correspondent au coût probable des dernières étapes du chantier (printemps-automne 1998).

## BIBLIOGRAPHIE RESTREINTE

Eugène BACH, Eugène BLONDEL, Adrien BOVY	"La cathédrale de Lausanne", Bâle, Birkäuser, 1944
Ellen Judith BEER	"Die Glasmalereien der Schweiz vom 12. bis zum Beginn des 14. Jahrhunderts", CVMA Schweiz, Band I, Basel, 1956, p. 23-72
Ellen Judith BEER	"Les vitraux du Moyen Age de la cathédrale", Berne, SSHA, pp. 221-255, 1975
COLLECTIF	"La rose de la cathédrale de Lausanne: premier bilan d'une étude alarmante, Lausanne, Journal de la Construction nos 15-16, pp. 5-16, 1991
COLLECTIF	Cathédrale de Lausanne, colloque du 31 mai 1996, "Restauration des verrières médiévales de la rose", Documentation préparatoire, Lausanne, Service des Bâtiments, 1996
COLLECTIF	Cathédrale de Lausanne, colloque du 31 mai 1996, "Restauration des verrières médiévales de la rose", Procès-verbal et annexes, Lausanne, Service des Bâtiments, 1996
Edouard DISERENS	"Le message de la Rose de la Cathédrale de Lausanne", Lausanne, sd, 12 p.
François FOREL	"Le carré central de la Rose de la cathédrale de Lausanne. A propos de l'étude d'Alice Mary Hilton", Zürich, 1990, Revue suisse d'Art et d'Archéologie, vol. 47, cahier 3.
Louis GAUTHIER	"La cathédrale de Lausanne et ses travaux de restauration 1869-1898", Lausanne, Borgeaud, 1899
Alice Mary HILTON	"La rose de la cathédrale de Lausanne", Zürich, 1989, Revue suisse d'Art et d'Archéologie, vol. 46, fasc. 3, pp.251-269
Ernst MURBACH	"Guides de monuments suisses, la rose de la cathédrale de Lausanne", Berne, Sté d'Histoire de l'Art en Suisse, 1982
Johann Rudolph RAHN	"Die Glasgemälde in der Rosette der Kathedrale von Lausanne", Zürich, Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft, Band XX, Abteilung I, Heft 2, pp. 28-58, 8 planches, 1879
Stefan TRUEMPLER	"Realität une Interpretation : Neue Erkenntnisse zum Rosenfenster der Kathedrale von Lausanne", Berlin, Künstlerischer Austausch, 1992

## LES ENTREPRISES

STUMP SONDAGES SA	Micro-pieux	Etagnières
BIOLLAY SA	Echafaudages extérieurs	Massongex
CONRAD KERN SA	Echafaudages intérieurs	Ecublens
DENERIAZ SA	Maçonnerie	Lausanne
RAMELET SA	Construction métallique	Lausanne
KURTH SA	Charpente	Orbe
SILVIO CAPRARA SARL	Pierre naturelle	Lausanne
SMANIO	Sablage	Vevey
L. GUARNACCIA	Serrurerie	Aigle
CENTRE SUISSE DE RECHERCHE ET D'INFORMATION SUR LE VITRAIL	Restauration des vitraux	Romont
MICHEL DELANOË	Maître verrier	Servion
WERNER WEYHE	Maître verrier	Lausanne
RUGA SA	Couverture-ferblanterie	Lausanne
CREPHART	Conservation de peinture	Le Lignon
CORREVON	Peinture	Gimel
AMAUDRUZ SA	Electricité	Lausanne
CHRISTINAT SARL	Menuiserie	Lausanne
HENNY SA	Sanitaire	Lausanne
CLAUDE BORNAND	Photographie de chantier	Lausanne
PUBLIRAHM	Panneau de chantier	Lausanne
SECURITAS	Surveillance du chantier	Lausanne

# Pignon sud de transept

Cathédrale de Lausanne

ETAT DE VAUD  
DEPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS  
DE L'AMENAGEMENT ET DES TRANSPORTS  
SERVICE DES BATIMENTS



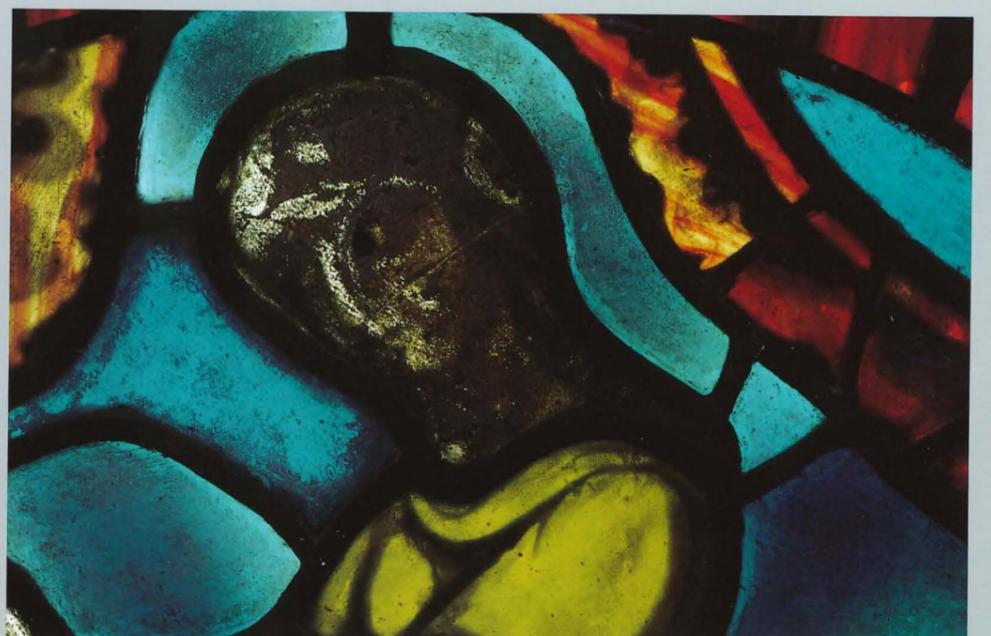
ESTAS avant et après restauration

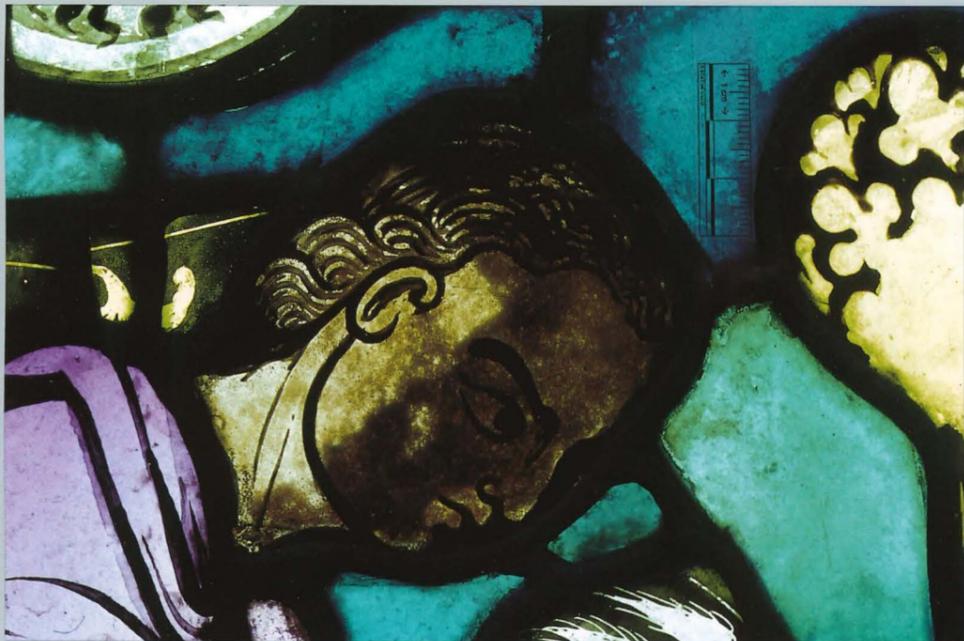
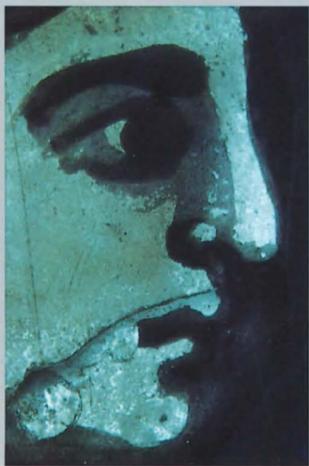
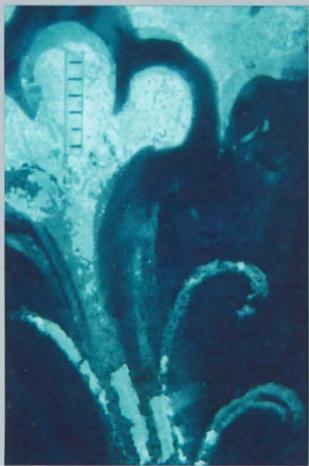
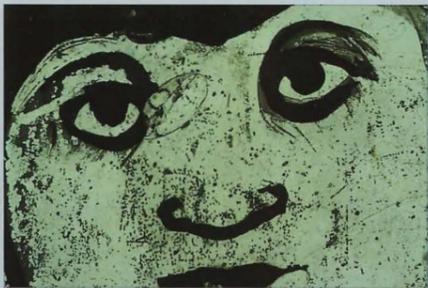
«ESTAS» vue externe  
du panneau avant le traitement des  
surfaces altérées



La tête de «LIBRA» (balance) après et  
avant restauration (face et revers)

«CINOMOLOGI», monstre cino-  
céphale des confins du monde  
après restauration



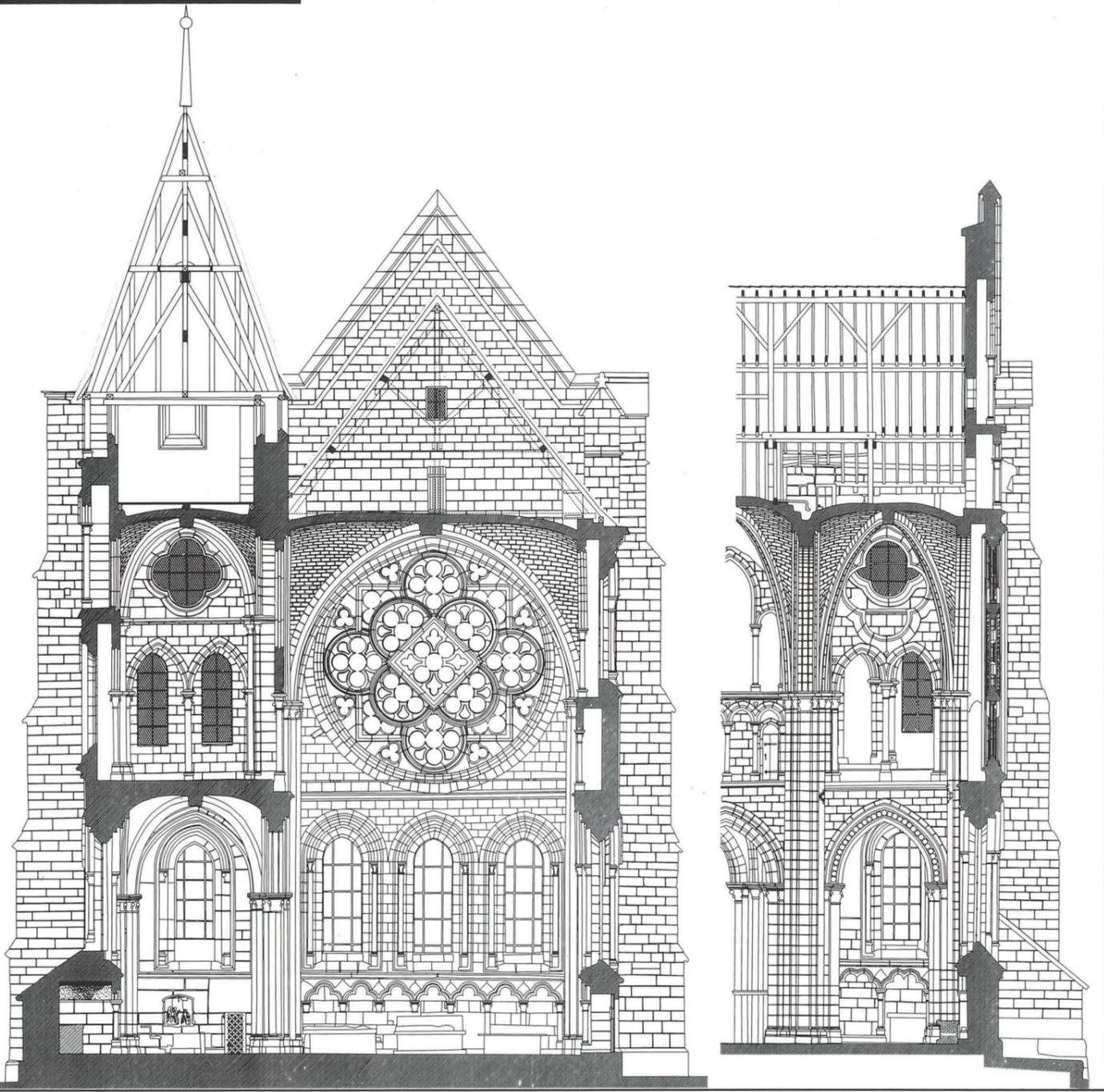


La tête de «JULIUS» en cours de traitement des couches d'altération, face externe et vue interne

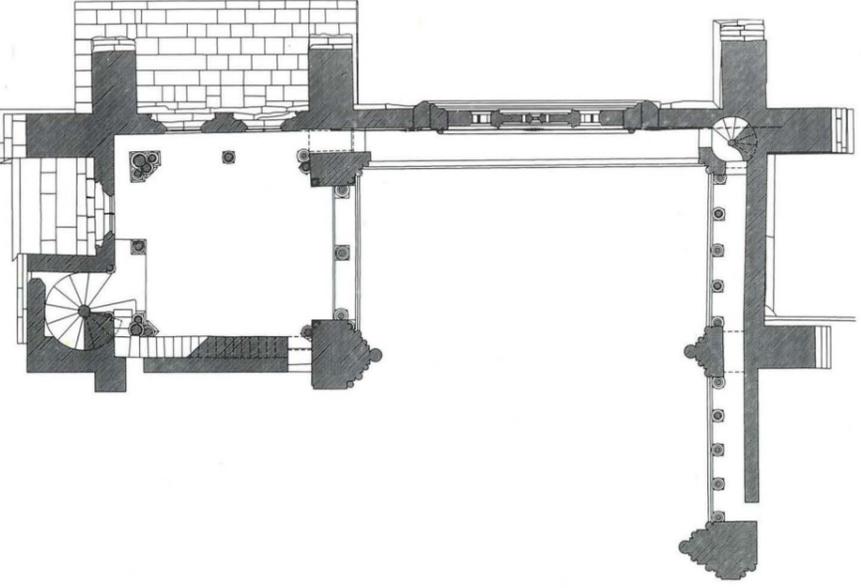
L'effet de dépoussiérage de la face interne sur un verre de «JULIUS»



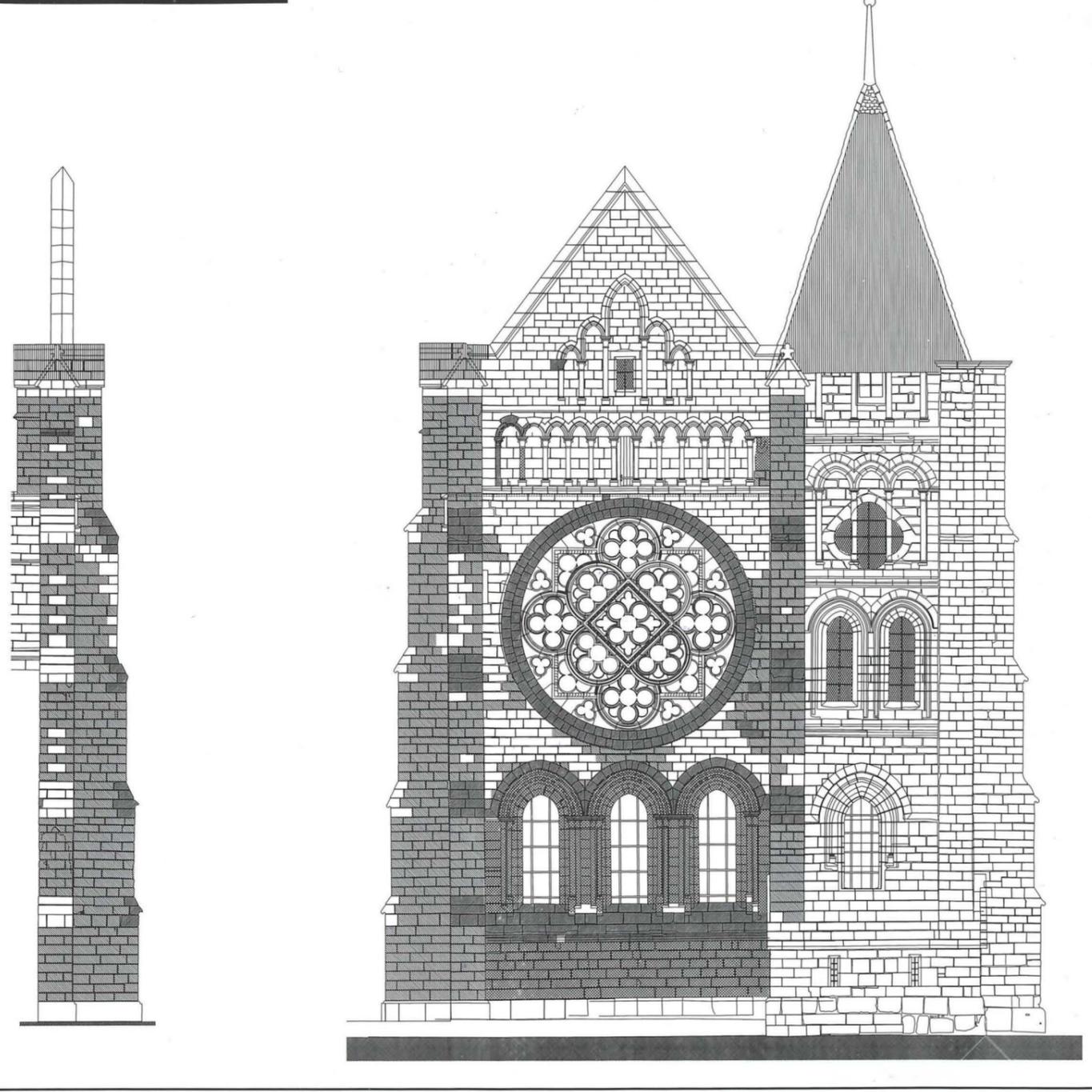
L'INTERIEUR



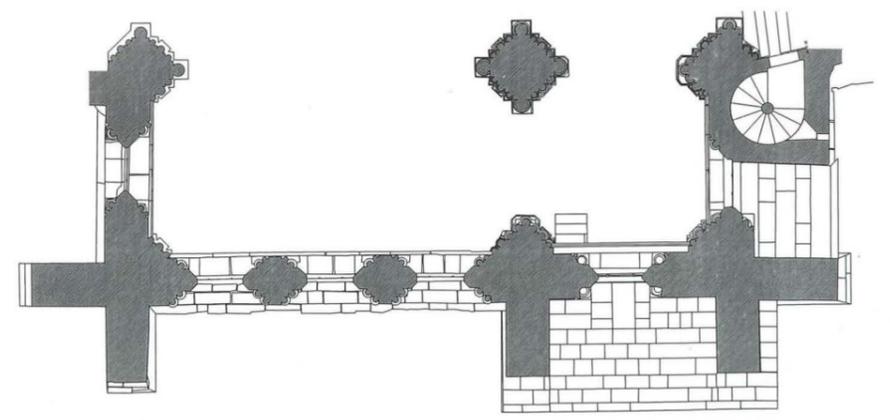
Coupe nord-sud vue vers l'est  
 Coupe est-ouest du transept  
 vue vers le sud  
 Plan au niveau de la rose



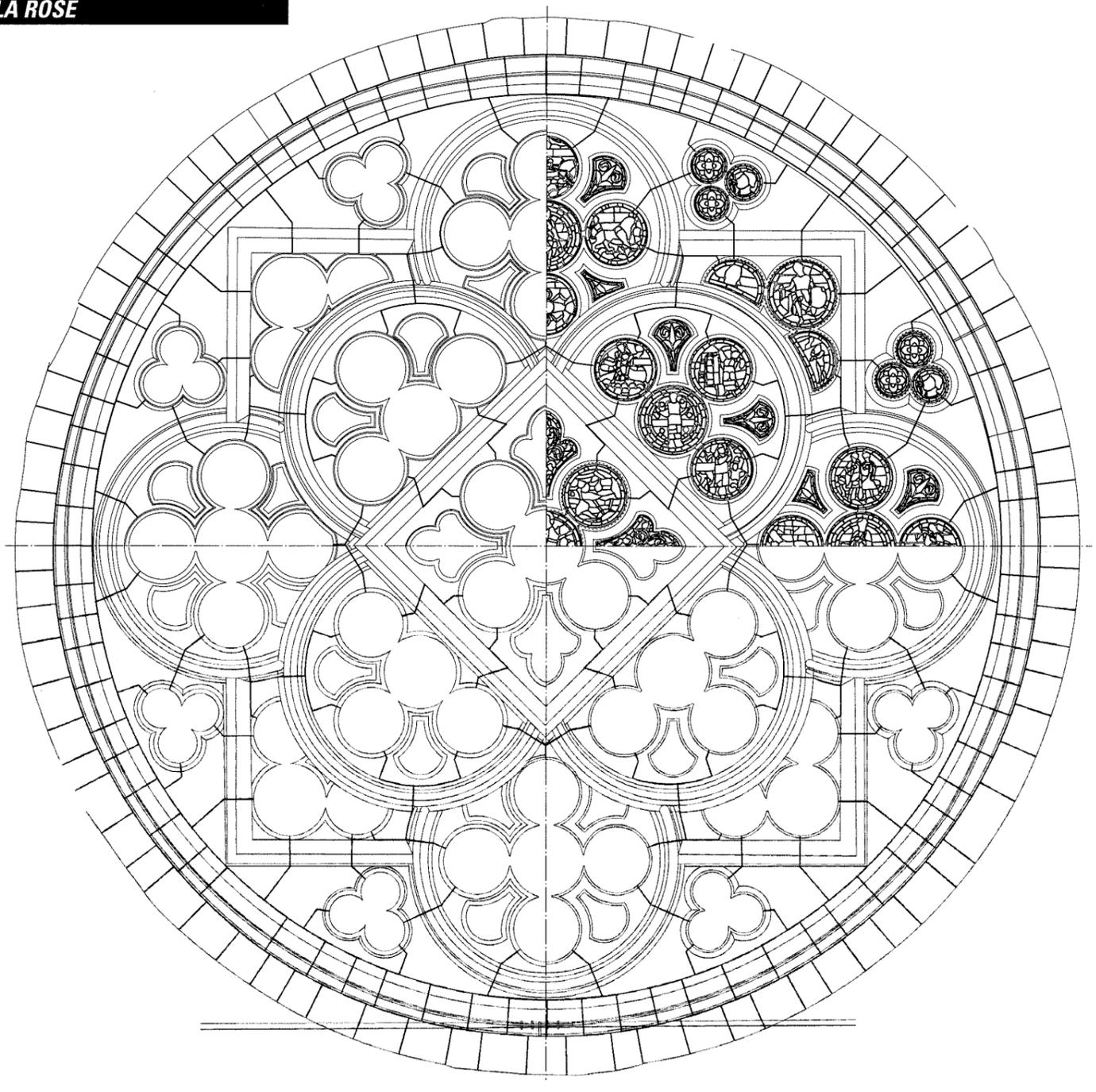
L'EXTERIEUR



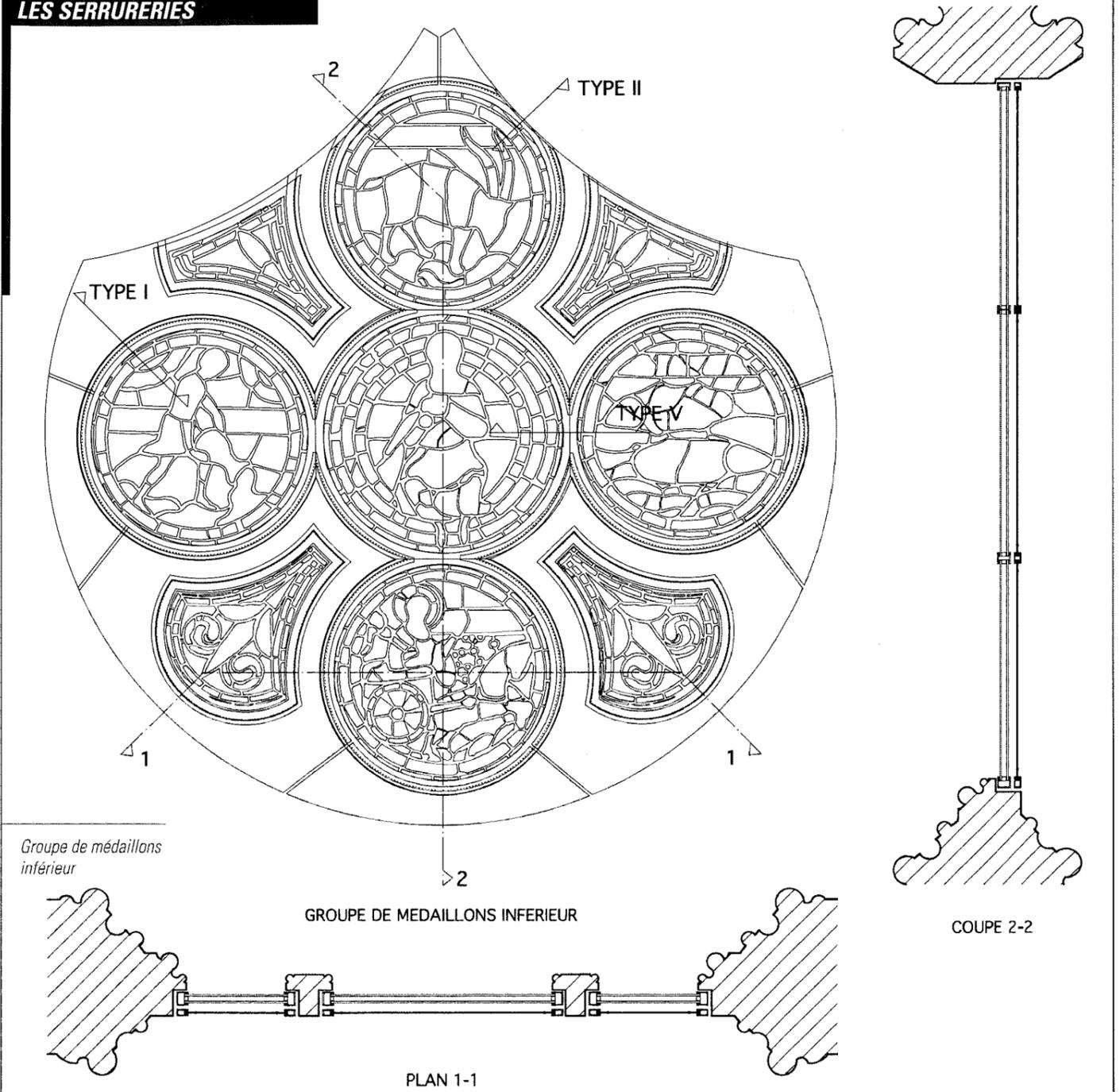
Face ouest des contreforts  
 Face sud du transept  
 Plan de situation



**LA ROSE**



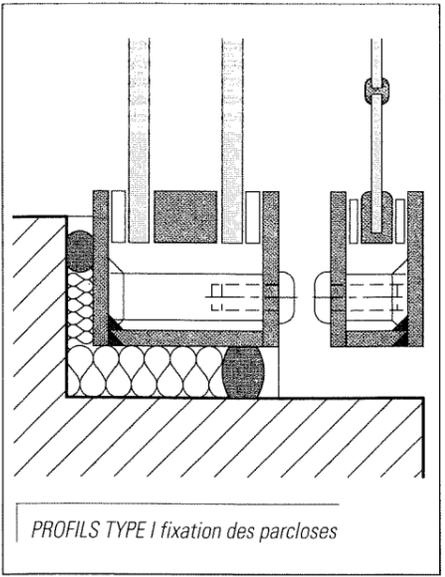
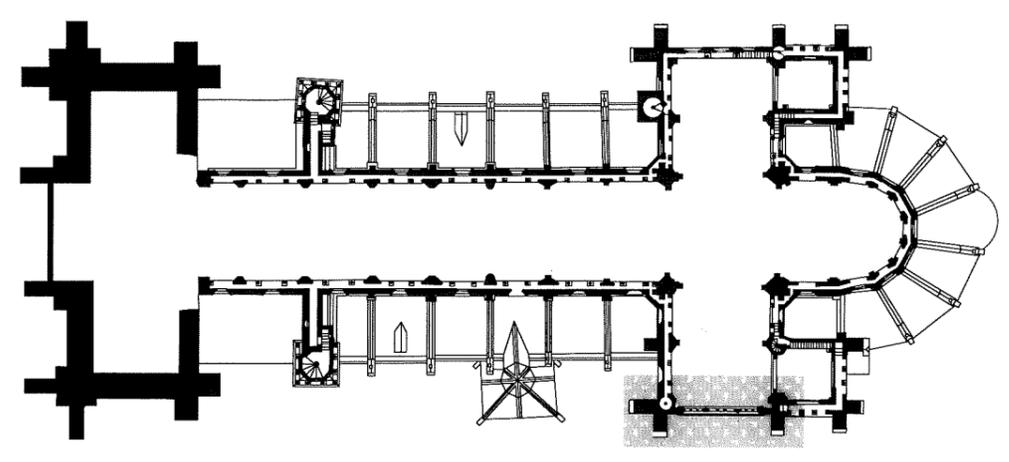
**LES SERRURERIES**



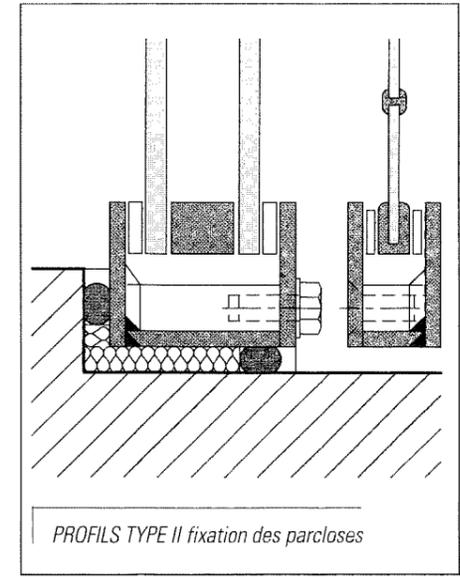
Moitié supérieure gauche:  
Les nouvelles serrureries  
Moitié supérieure droite:  
Les vitraux dans les nouvelles  
serrureries

Moitié inférieure gauche:  
Les battues détaillées  
Moitié inférieure droite:  
Les anciennes battues

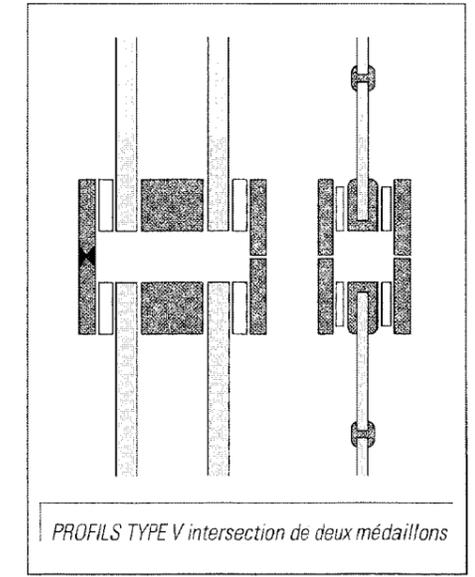
Plan de situation



PROFILS TYPE I fixation des parclozes



PROFILS TYPE II fixation des parclozes



PROFILS TYPE V intersection de deux médaillons

La cathédrale de Lausanne, par sa valeur historique, culturelle et architecturale, et par la complexité des interventions qu'elle demande, représente l'un des chantiers les plus prestigieux du canton.

La phase de restauration qui s'achève a contribué à compléter la connaissance désormais substantielle que l'on a du monument.

Impressionnante par sa technicité, qui permet d'agir sur la statique des éléments en renforçant la structure maçonnée du pignon sud, cette restauration prend également une dimension particulière avec la délicate intervention qu'elle comporte sur l'ensemble unique formé par les vitraux de la rose.

L'immense chantier de la cathédrale, presque voué à être perpétuel, fait la démonstration d'une technique et d'une science de l'ingénieur au service de la préservation du patrimoine.

Les deux volets de ce projet - restauration des vitraux et consolidation des fondations du monument - ont peut-être une visibilité différente pour le visiteur, mais ils sont en réalité indissociables. En effet, les liens qui unissent les éléments de la cathédrale et donnent à l'édifice sa cohérence et son harmonie imposent aussi le rythme et l'ordre de priorité des travaux à entreprendre.

Si nous pouvons assurer ce suivi, c'est grâce aux recherches inlassablement menées par des équipes pluridisciplinaires, qui ont permis d'établir un plan global de restauration de la cathédrale de Lausanne.

C'est ainsi qu'une phase de travaux peut s'achever, préparant efficacement la suivante.

Le Conseil d'Etat tient à remercier chaleureusement tous les artisans qui ont contribué à faire de ce chantier si particulier une réussite.

Daniel SCHMUTZ  
*Conseiller d'Etat,  
Chef du département des travaux publics,  
de l'aménagement et des transports.*

10, place de la Riponne	CH - 1014 Lausanne
Coordination:	Antoine Graf
Conception graphique :	André Bovey, Lausanne
Photos :	Claude Bornand, Lausanne
	CSRV Romont
Impression :	Favre et Winteregg Echandens