Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 70 (1993)

Artikel: Stabilité du choeur de la cathédrale de Quimper
Autor: Mouton, Benjamin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-53356

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

Stabilité du Choeur de la cathédrale de Quimper

Stabilisierung des Chors der Kathedrale von Quimper

Stabilization of the Choir of the Quimper Cathedral

Benjamin MOUTON
Architecte en Chef
Ministère de la Culture
Paris, France

B. Mouton, né en 1948, obtient son diplôme d'Architecte DPLG à l'École Supérieure des Beaux-Arts en 1972. Architecte en Chef des Monuments Historiques depuis 1980, il est actuellement en charge de la restauration de la Cathédrale de Quimper pour le compte du Ministère de la Culture.

RÉSUMÉ

Le choeur de la cathédrale de Quimper, reconstruit en style gothique dès 1230, révéla peu à peu une erreur de conception dans les culées externes des arcs boutants qui n'assurent pas le contrebutement nécessaire. La solution adoptée consiste à employer la post contrainte à l'aide de tirants en acier inoxydable, introduits par forages dans les maçonneries des culées et des arcs boutants, afin de rétablir l'équilibre par l'introduction des pressions nécessaires.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Chor der Kathedrale von Quimper, im gotischen Stil ab 1230 wiederaufgebaut, zeigte nach und nach einen Konzeptionsfehler in den äusseren Widerlagern der Bogenendstücke, die nicht das notwendige Gegengewicht sicherstellten. Die angewandte Lösung besteht in der Verwendung der Vorspannung. Mittels Bohrung wurden rostfreie Ankerbolzen in die gemauerten Widerlager und Bogenendstücke eingelassen, so dass unter Anwendung der notwendigen Spannung das Gleichgewicht wiederhergestellt werden konnte.

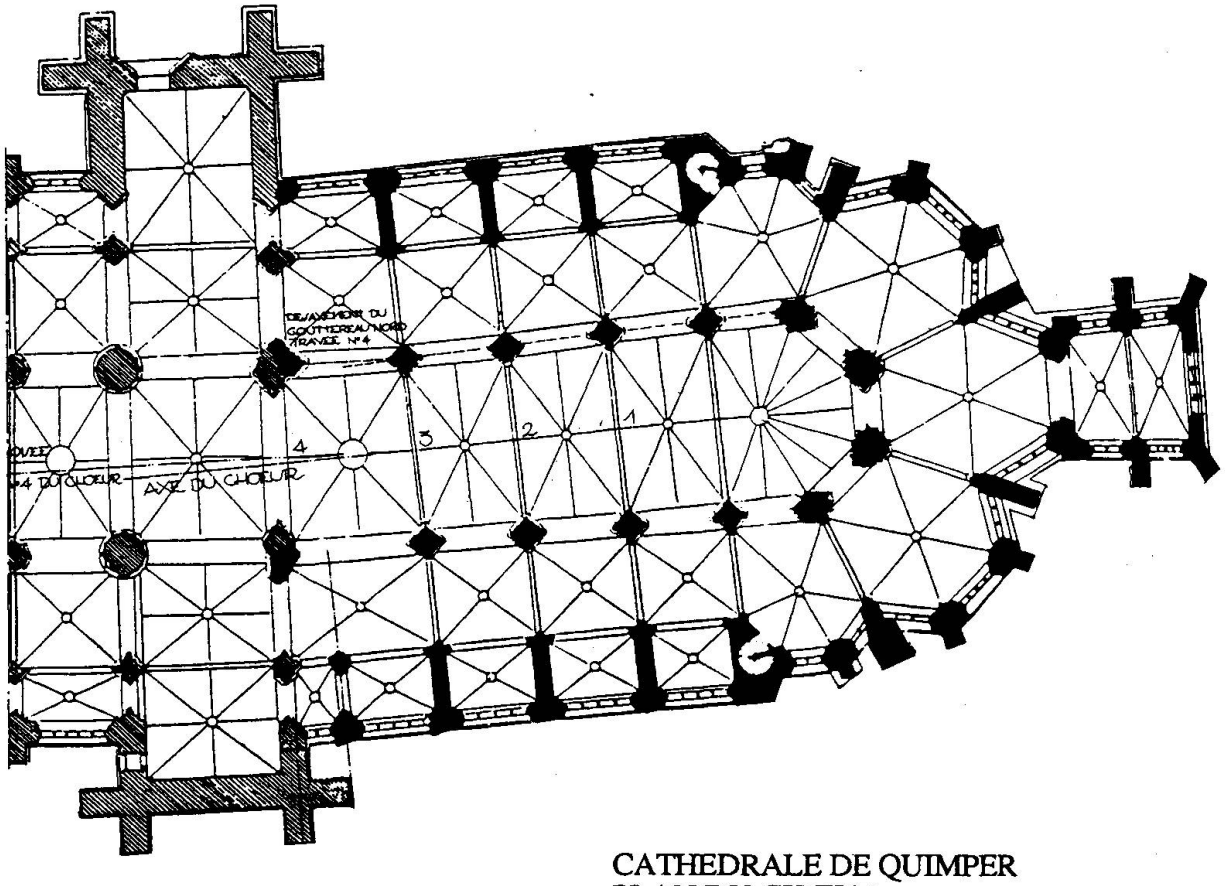
SUMMARY

The choir of the Quimper Cathedral, rebuilt in gothic style from 1230 onwards, revealed little by litte a conceptional error with regard to the external abutment of the flying buttress which did not provide the necessary counter weight The solution consisted in applying a post tensioning method. Stainless steel tension springs have been inserted by drilling into the masonry abutment and flying buttress, thus the balance could be regained by applying the necessary tension.

1. HISTORIQUE

Le chœur de la Cathédrale Saint Corentin fut reconstruit en style gothique à partir de 1230. Les travaux durèrent jusqu'en 1335, date à laquelle le culte put à nouveau y être excercé.
L'ensemble était alors clos (charpente-couverture) et les arcs boutants très probablement déjà en place. Les voûtes ne furent construites que de 1408 à 1415 suivant le système de croisées d'ogives quadripartites recouvertes d'un badigeon polychrome en 1417.
Peu de temps après, dès 1424, la nef fut reconstruite suivant un parti délibérement homogène avec le chœur, se poursuivant ensuite par le transept dont le bras Nord achevé en 1486, consacra l'aboutissement. C'est dans son état que l'édifice, traversa ensuite les siècles.

En 1862, la restauration de l'édifice fut entreprise. L'architecte diocésain Joseph BIGOT précisait en particulier que les tirants métalliques ancrés dans les murs gouttereaux du chœur et fixés aux entraits de charpente, étaient "pourris" et qu'il était nécessaire de les remplacer. Il s'agissait d'un renfort de stabilité mis en place au XVIIIe siècle (voire même avant), et dont la présence révèle que la stabilité du chœur causait depuis longtemps de très anciennes inquiétudes.
A la même époque, les passages exitants aux pied des culées externes furent murés au Nord dans un but de consolidation.



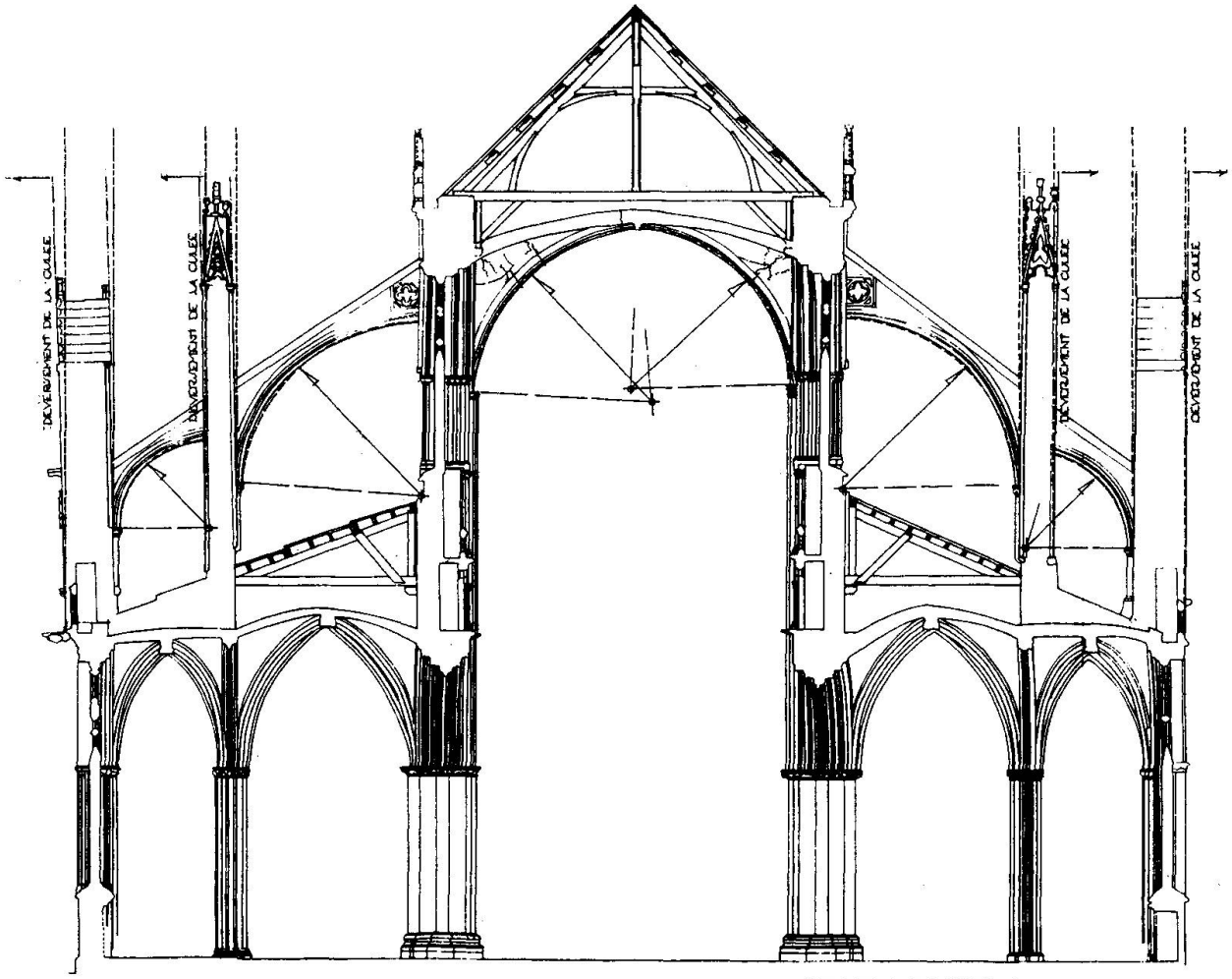
CATHEDRALE DE QUIMPER
PLAN DU CHŒUR
D'APRES CHAUSSEPIED, CONGRES ARCHEOLOGIQUE 1914

2. DESORDRES

2.1. Surveillance

En 1982, devant les nombreuses fissures qui étaient apparues sur l'enduit du XIXe siècle, une campagne de surveillance fut entreprise ; des témoins de plâtre placés sur l'extrados des voûtes, au droit des fissures se brisèrent en quelques semaines, révélant un mouvement actif.
Les relevés stéréophotogrammétriques entrepris peu après (1985) montrèrent des déformations, qui pouvaient être interprétées de deux façons :
- déformations des maçonneries au moment du décintrage des arcs et de la prise des mortiers. Ce serait le cas très probable des voûtes du haut chœur par exemple, dont les déformations ne s'expliquent par aucun mouvement spécifique ;
- déformations dues à des affaissements et des défaillances : arcs déprimés, appuis déversés : c'est le cas en particulier des arcs boutants et des culées qui les épaulent. Ces désordres peuvent être actifs.

En particulier, on a pu noter un important déversement de la culée externe des arcs boutants, alors que le mur gouttereau des chapelles situé en dessous, avait gardé sa verticalité.

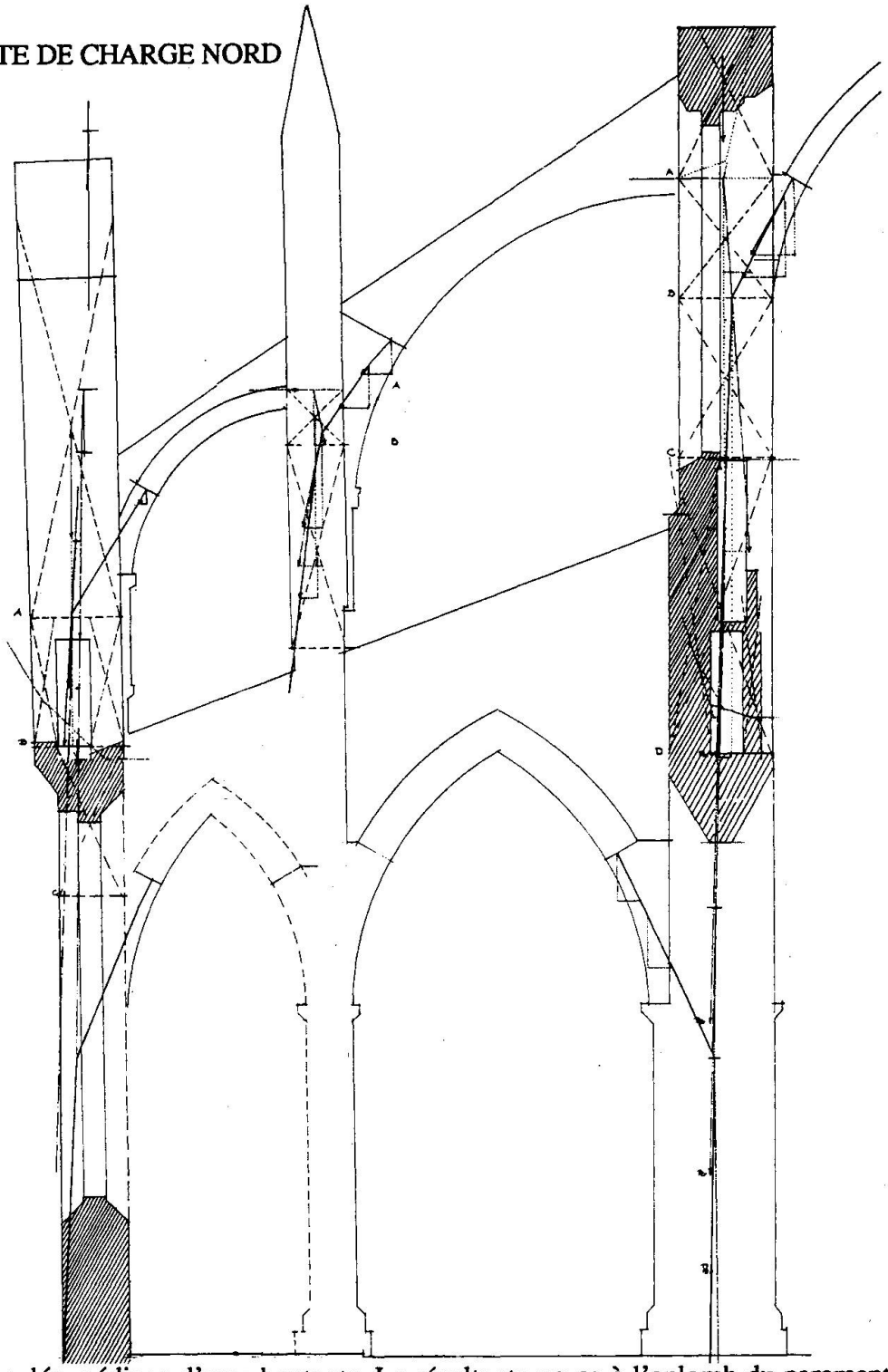


ETAT DES DEFORMATIONS

2.2. Analyses

Les études de stabilité commencèrent d'abord par une reconnaissance du sous-sol et mirent que le sol est suffisant pour soutenir l'ouvrage.
L'analyse du complexe voûtes à croisées d'ogives + arcs boutants, fut entreprise avec une méthode dérivée de la statique graphique (dite méthode de Merry), et révéla les résultats suivants :
- Stabilité excellente des voûtes du chœur contrebutées par les arcs boutants. La résultante passe par le tiers central en pied de pile.

SYNTHESE DESCENTE DE CHARGE NORD



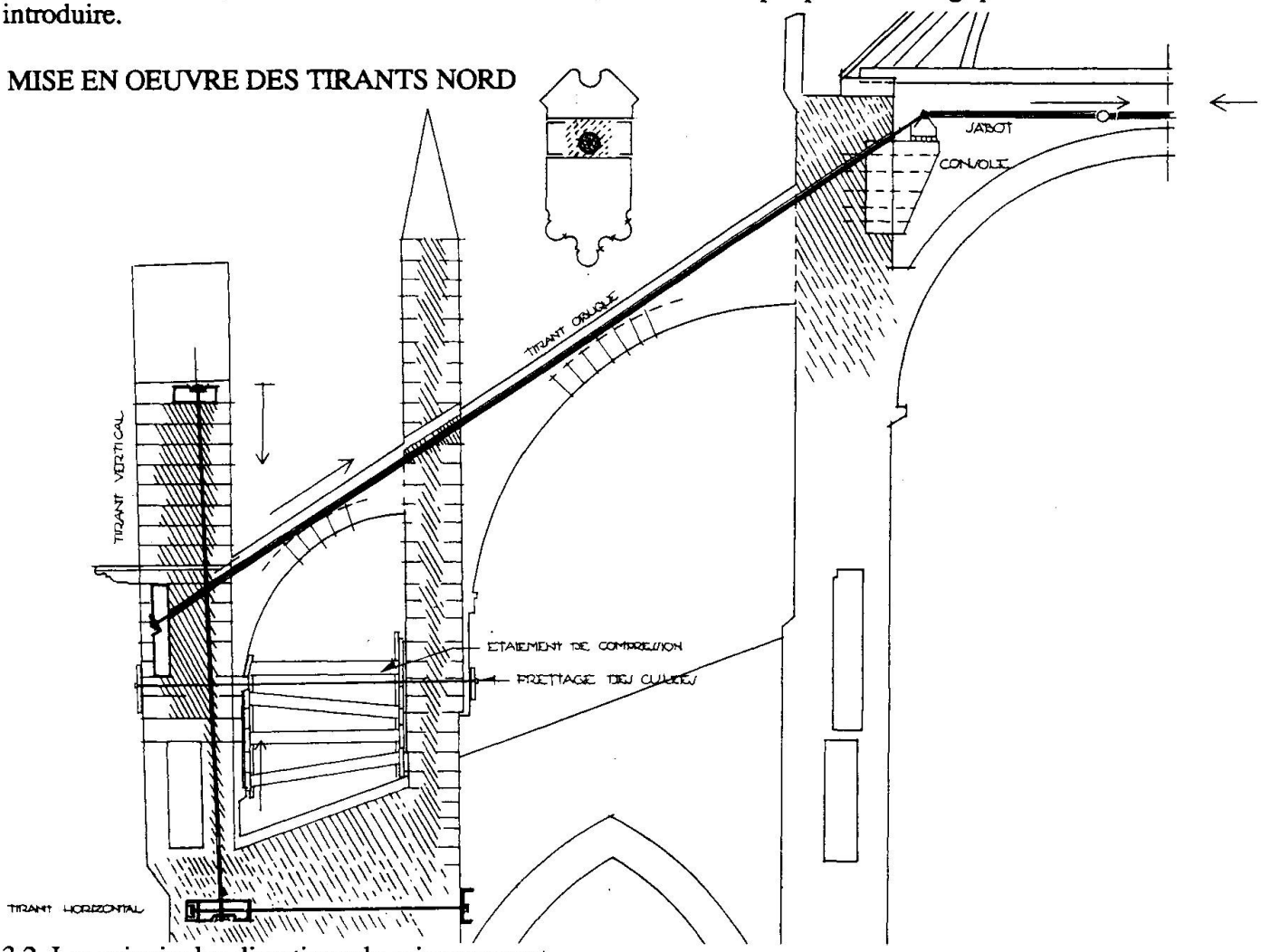
- Stabilité limite de la culée médiane d'arcs boutants. La résultante passe à l'aplomb du parement externe, au pied de la culée. Mais le mur diaphragme de séparation des chapelles qui monte jusqu'au comble de bas côté, peut assurer un épaulement satisfaisant de la culée.
- Stabilité défaillante de la culée externe, avec sortie de résultante au niveau du chéneau de toiture du bas côté, ce qui explique l'articulation observée dans les alignements des aplombs extérieurs, (révélée par la stéréophotogrammétrie). Ce phénomène est accentué par le fait que, contrairement à la manière couramment adoptée dans l'architecture gothique, (ce qui fut le cas à Quimper dans la nef), les culées externes du chœur ne sont pas prolongées vers le bas par un contrefort, mais s'appuient sur une corniche qui est en porte à faux et aggrave l'effort au déversement. Par effet en chaîne, des désordres sont apparus naturellement sur les arcs boutants et la voûte du chœur. Mais les valeurs quantitatives sont de faible importance, ce qui a permis à l'ouvrage d'absorber ces excédents.

3. PROJET

3.1 Recherche du parti de consolidation

Les recherches s'étaient fixées deux objectifs :
- action sur les causes et non sur les effets ;
- intervention par la mise en œuvre de tensions complémentaires compatibles avec l'équilibre dynamique existant. Dans ce cas, abandon délibéré des techniques par prothèses artificielles lourdes du type pinces, chainages, équerres en Béton Armé, qui introduisaient à la fois des points durs, et ensuite un paramètre statique passif totalement en contradiction avec la statique dynamique de l'architecture gothique.

L'état "d'équilibre idéal" auquel on voulait arriver fut obtenu par calculs en partant du point de résultante souhaité, et en remontant le funiculaire, notant à chaque point névralgique les actions à introduire.



3.2. Les principales directions du raisonnement

- Tout d'abord, on a décidé de faire passer la ligne résultante des pressions dans le piedroit interne du passage de circulation situé au pied des culées d'arc boutant, (muré par M. BIGOT et dont la réouverture devait servir de test de résultat).
- Accentuation de l'effet pinacle de la culée externe.
- Reprise des pressions excédentaires de la volée inférieure de l'arc boutant.

3.2.1. "L'effet pinacle", destiné à verticaliser les pressions est le poids des maçonneries situé au-dessus de la ligne d'action des poussées. Sans augmenter le volume des pinacles, il est possible d'en augmenter la charge en les solidarisant avec les maçonneries inférieures, qui, en "temps normal", ne produisent pas de travail. Le moment de renversement s'en trouve donc amélioré, et la technique adoptée est celle de la post-contrainte par tirants verticaux forés.

3.2.2. La similitude des dispositions Nord/Sud favorise des solutions symétriques. Il a été envisagé de créer une pression sur les culées externes Nord et Sud, agissant en sens inverse des pressions excédentaires par l'intermédiaire de tirants, ancrés à chaque extrémité dans les culées externes, cheminant sur le dessus des arcs boutants et réunis deux à deux en comble par tirants transversaux, l'ensemble étant articulé suivant un schéma en "trapèze". La valeur de la tension imprimée aux tirants est fonction de la composante horizontale nécessaire, calculée au niveau de la culée.

3.2.3. La présence de tirant situé en partie haute des volées d'arcs boutants peut agir en fibre tendue et contribuer à s'opposer aux mouvements de flexion pouvant résulter d'éventuels effets de compression excédentaires. Cette disposition permet donc d'assurer en même temps un rôle de sécurité.

3.2.4. Cette disposition pemet d'intervenir en comble sans aucune incidence sur la charpente existante qui peut être conservée en totalité avec toutes ses modifications. L'ensemble est totalement réversible.

3.3. Valeurs calculées

La difficulté était sans privilégier une action par rapport à une autre, de recréer un nouvel équilibre de tension, en cohérence et en harmonie avec l' équilibre gothique initial.
Malgré la conception symétrique Nord/Sud du chœur, la partie Sud accuse des dimensions moins développées, ce qui signifie des pressions moindres dans l'ensemble du contrebutement. C'est la valeur excédentaire de pression des arcs boutants Sud qui a servie à définir l'intensité des efforts destinés à s'opposer au déversement (1,2T).
L'effet pinacle nécessaire dans les deux culées externes Nord et Sud est de 4,5T, appliqué suivant une direction légèrement oblique, pour permettre à la fois le passage dans le piedroit interne de la culée, et à l'inverse, une position aussi centrale que possible en tête pour assurer une meilleure répartition de la compression sur la culée.
Dans la partie tournante du chœur, on a constaté que :
- les arcs boutants supérieurs ont un développement comparable à ceux des travées courantes ;
- les arcs boutants inférieurs sont beaucoup plus courts, et provoquent une pression réduite sur les culées externes ;
- les culées externes sont prolongées vers le bas par des contreforts.
En conséquence, il n'était pas nécessaire d'entreprendre l'introduction d'une pression s'opposant au déversement, l'action ou l'effet pinacle étant largement suffisant, et seul l'effet pinacle s'est révélé suffisant.

4. CHANTIER

La restauration du chœur fut inscrite dans la loi de programme sur les Monuments Historiques et les travaux ont commencé en Janvier 1990 pour une durée de quatre ans.

4.1. Action sur les maçonneries anciennes.

La restauration de 1868-1870 n'avait assuré que la réfection des joints, sans intervenir sur le cœur des structures. Aussi a-t'il été nécessaire d'entreprendre au préalable la restauration des maçonneries, par refichage, rejointoiement et injection (par coulis gravitaire ou à faible pression) de chaux hydraulique naturelle blanche, définie comme la plus proche et la plus compatible avec les mortiers d'origine encore en place.
On a constaté à cette occasion une bonne cohésion des maçonneries anciennes, avec de rares faiblesses localisées.

4.2. Tirants subverticaux des culées externes.

- Restauration des culées et des arcs boutants (cf. ci-dessus).
- Etaiement de la volée externe, par mise en place de frettage réunissant les deux culées (médiane et externe) pour les assimiler à un "mur plein". La volée supérieure d'arc boutant continuant naturellement à jouer son rôle dans l'équilibre de la voûte du chœur.
- Dépose du couronnement du pinacle de la culée externe.

Etablissement sur l'arase de la culée, dans la hauteur dans la dernière assise, d'une "platine" Béton Armé ferraillée en périphérie (épaisseur 20cm) ; et d'une autre en pied de culée, exécutée en sous œuvre en deux parties successives alterne/interne.

- Forage : diamètre 7cm maximum autorisé, sur une hauteur de 7m.
Le tracé n'était pas vertical mais oblique, défini visuellement par cordeaux, puis transmis à la machine par réglage angulaire. La tolérance pour assurer le passage dans le piedroit de la culée (piedroit côté toiture) était telle qu'une dérive de 1% maximum était acceptable par rapport à la cible prévue.
Résultats obtenus :
2cm soit 0,3% dans le cas le plus défavorable.
5mm soit 0,08% dans le cas le plus favorable.
- Mise en place d'une tige d'acier inoxydable filetée, assemblée en trois parties par manchons. Ancrage sur la platine basse par platine métal, écrou et clavette ; ancrage sur la platine haute et la même façon avec écrou et contre écrou.
- Mise en tension à 4,5T et serrage régulier chaque jour (pour absorber l'effet de relâchement). La stabilisation de la tension a été obtenue au bout d'une semaine.
- Injection de coulis de ciment en enrobage du tirant d'inox afin d'assurer à chaque assise une intime liaison à chaque assise avec les maçonneries traversées.
- Repose de la tête de pinacle ; dépose de l'étaiement de la volée externe.

4.3. Tirants obliques
- Dépose des chaperons d'arcs boutants formant goulottes d'évacuation des eaux pluviales ; création dans la partie neutre, (remplissage situé au dessus de la partie clavée des arcs), de saignées longitudinales pour recevoir le tirant.
- Forage oblique dans culée médiane et culée externe ; création d'un passage dans le gouttereau haut.
- Mise en place d'une platine BA dans culée externe, après dépose avec soin du parement extérieur .
- Mise en place d'une console en béton armé dans le comble.
- Mise en place de tirants en acier inoxydable lisses, logés dans une gaine PVC qui les isole de la maçonnerie pendant tout leur trajet, l'essentiel de l'effort devant se concentrer exclusivement au point d'appui sur la culée externe et non le long de l'arc.
L'intérieur de la gaine PVC a été garni de mousse de polyuréthane pour isolation et maintien du tirant dans l'axe de la gaine.
Après coup, repose des parements de pierre et des chaperons d'arcs boutants.

FORAGE DES TIRANTS SUBVERTICAUX

4.4. Tirants transversaux et accrochage du trapèze
En comble, sur les consoles BA encastrées dans les murs gouttereaux, mise en place des articulations destinées à réunir les tirants obliques avec le tirant traversant le comble.
- Cette articulation fait naître une résultante vers le bas qui améliore encore, si cela est nécessaire, la stabilité des appuis de voûtes du haut chœur.
- Elle ne doit pas être bloquée, mais rester souple, afin de suivre tous les éventuels mouvements pouvant affecter séparemment ou non le flanc Nord ou Sud de l'édifice (vent, pluie, température, etc ...). La solution initiale de rotule sur galets fut remplacée par un bras oscillant plus simple à réaliser et offrant un résultat comparable.

- Sur chaque tirant oblique à son arrivée en comble, et sur le tirant horizontal de liaison, a été placé un extensomètre (soit 3 par trapèze), de sorte à établir clairement la valeur des tensions de chaque tirant, et éventuellement localiser un accident pouvant intervenir dans le système de consolidation.
- Le tirant de liaison était prévu en acier inoxydable avec enrobage d'un isolant thermique. Mais du fait du cœfficient de dilatation très élevé de l'acier inoxydable, seule une isolation par manchon chauffant semblait pouvoir donner une stabilité satisfaisante. Cette formule a été écartée pour des raisons évidentes de maintenance, et la solution a pu être trouvée dans l'emploi de matières composites dérivées de la fibre de carbone (thermiquement stable, incombustible, non magnétique, etc...). Les résultats ont immédiatement marqué une stabilisation de la tension à plus ou moins 6%, de la tension nécessaire.
- L'ensemble de l'installation est mise en surveillance durant un cycle climatique complet (1 an) de sorte à en suivre les effets, et en apprécier l'équilibre. Les passages de circulation au travers des culées externes ont été reouverts ; les voûtes ont été réenduites. Aucun désordre n'est apparu depuis trois ans et semble confirmer l'efficacité des mesures adoptées.

ACCROCHAGE DE TRAPEZE EN COMBLE

5. CONCLUSION

Cette opération de consolidation quasiment achevée est actuellement et s'intègre à un programme beaucoup plus vaste de restauration complète du chœur de la cathédrale de Quimper, portant également sur les toitures, les maçonneries, les vitraux, le décor intérieur et le mobilier.

Elle est l'illustration des nouvelles tendances de recherche en matière de consolidation de structures, (appliquées en France et également à l'étranger par les missions françaises), et qui consiste à proposer, face aux techniques de consolidation par prothèses de blocage en béton armé (pinces, équerres, chainages), dont l'expérience a montré après plus de quarante ans, la très difficile assimilation par les maçonneries anciennes, une alternative qui se définie ainsi :

- Ce sont des interventions conçues comme mesure d'appoint venant compléter les consolidations par régénération des structures dans leur état aussi proche que possible de celui d'origine.

- Elles consistent à agir le plus près possible des lignes d'action des pressions et s'y intégrer avec les amplitudes les plus faibles.

- Ces techniques mettent en œuvre des matériaux contemporains mais ne nécessitent pas en principe une technologie particulièrement lourde ; elles visent un respect absolu de la réversibilité.