

Zoom

Sur La Souterraine

TOUS PROCÉDÉS DE RÉPARATION ET DE
RENFORCEMENT DE STRUCTURES EXISTANTES



Pierre

Avant-propos

La Souterraine (Creuse) est une importante étape pour les pèlerins en route vers Saint-Jacques-de-Compostelle. Son église du XII^e siècle a subi de rudes épreuves au fil des ans : un clocher plusieurs fois foudroyé et restauré, des charpentes modifiées et surélevées, l'ajout d'un pignon entre le transept et la nef, jusqu'à la reprise des fondations sous les façades... bref, le poids des années et les malfaçons d'origine expliquent qu'à l'aube du XXI^e siècle cet édifice soit dans un état d'effondrement potentiel. C'est dans le cadre d'un vaste programme de restauration et de sauvegarde que RENOFORS a montré une nouvelle fois son savoir-faire en appliquant avec succès son procédé breveté RENOFORS-PIERRE.

Les mesures d'urgence	p 1
Le diagnostic	p 2
La modélisation	p 2
La confortation de l'édifice	p 3
Le mot de l'architecte	p 4
Le mot du maître d'ouvrage	p 4
La fiche d'identification	p 4



Renofors consolide les structures de l'église Notre-Dame, stabilise et restaure son clocher

LES MESURES D'URGENCE

Conscient de l'état de délabrement de l'édifice, l'Architecte en Chef des Monuments Historiques avait préconisé la mise en place d'appareils de télésurveillance et c'est le 14 mai 2003 que ce dispositif signala une brusque

“ nous avons donc fait appel aux tirants en fibres de verre et de carbone ”

inclinaison du clocher, prouvant l'instabilité des maçonneries. C'est donc dans un climat d'urgence qu'un périmètre de sécurité fut établi avec évacuation de certaines habitations et que des mesures

conservatoires furent prises : pose de butons métalliques en façade, mise sur cintres des arcs doubleaux nord, sud et ouest de la première travée de la nef et frettage par poutres métalliques sur 2 niveaux de la partie basse du clocher.

RENOFORS

— La chirurgie du bâtiment —



Butonage d'urgence de la façade

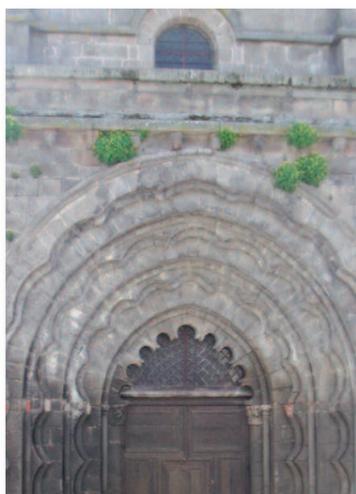
LE DIAGNOSTIC

Entièrement construite en granit appareillé, l'église est en forme de croix latine. Une crypte s'étend sous le transept et le chœur, elle abrite un sanctuaire gallo-romain d'où l'origine du nom de la ville. Son clocher se situe au dessus de la première travée de la nef d'où il surplombe un imposant portail.

Ses façades laissent apparaître d'importants désordres : parements extérieurs des maçonneries disjointes couverts de lichens et de mousse, végétation dans les joints évidés et les fissures, dalles de terrasses non étanches, importantes fissures diagonales au nord comme au sud dans la voûte berceau, important cisaillement vertical avec rupture de pierres dans la coupole et les grandes arcades au pied du clocher.



Frettage d'urgence du clocher



Végétation dans les joints

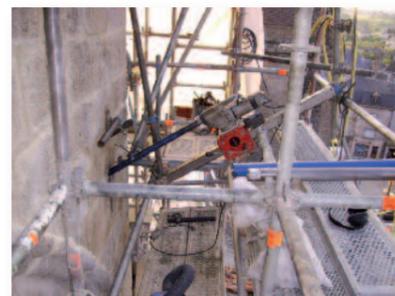


Étaieiment intérieur de la coupole

LA CONFORTATION DE L'ÉDIFICE PAR APPLICATION DU PROCÉDÉ RENOFORS PIERRE

Les notes de calcul ayant déterminé le dimensionnement des diamètres et le positionnement des armatures à mettre en place en fonction des efforts à reprendre, les travaux furent les suivants :

- **clocher** : chaînage sur 2 niveaux par armatures fibres de verre scellées dans la maçonnerie sur toute leur longueur. Ceci permet une répartition des efforts et évite de poinçonner la maçonnerie aux extrémités des tirants comme le feraient des plaques d'ancrage ou des croix de Saint-André,
- **arc doubleau du clocher** : scellement de 4 tirants de renforcement, manchonnés dans des tubes, par armatures en fibres de carbone. Afin de remettre les maçonneries en compression, chaque tirant a été précontraint à 5 tonnes en traction à l'aide d'un vérin creux,
- **maçonneries en général** : remaillage des contreforts et des piliers par 4 niveaux d'armatures en fibres de verre.



Installation des carotteuses



Mise en place des tirants en fibres de verre et carbone



Clamps de serrage des tirants pour la post-tension

La mise en place de ces structures de confortation, toutes scellées à la résine, nécessita souvent des interventions délicates : forages jusqu'à 18,50 mètres de longueur dans des maçonneries de faible épaisseur avec utilisation de mèches de carottage afin d'éviter vibrations et effets de percussion. Rappelons enfin que la fibre de verre ou de carbone utilisée dans le cadre de cette restauration présente l'avantage d'être inerte, d'un faible poids, insensible à la corrosion, non conductrice de l'électricité (foudre) et possède – contrairement à l'acier – un coefficient de dilatation inférieur à la pierre.



Mise en tension des tirants à l'aide du vérin creux

LA MODÉLISATION DU CLOCHER ET DES 2 PREMIÈRES TRAVÉES

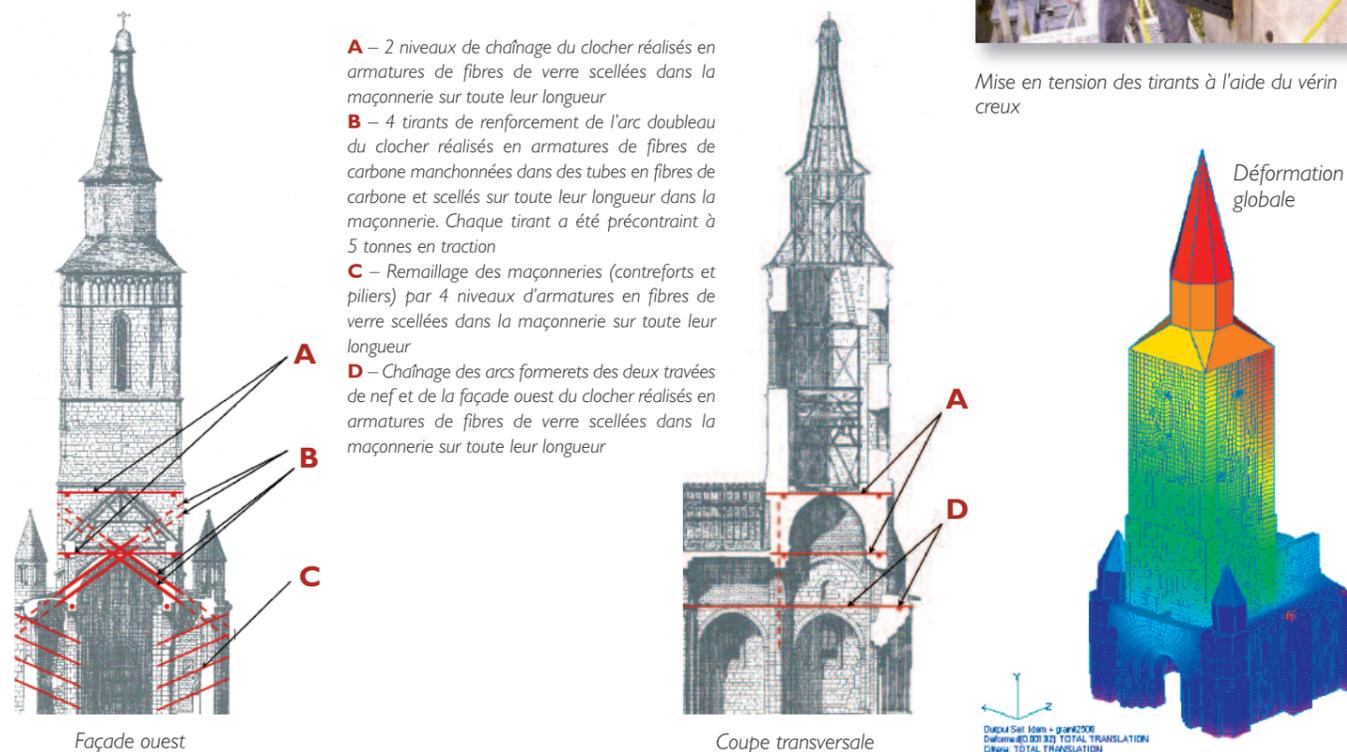
La modélisation aux éléments finis de la géométrie de l'ouvrage a été réalisée à l'aide d'éléments de maillage 2D et 3D.

Après contrôle des hypothèses sur les matériaux (granit et mortier), l'intégration des charges et surcharges supportées par l'édifice, le modèle permet ainsi d'identifier les éventuels désordres.

Le calcul aux éléments finis indique les réactions d'appui des piliers et contreforts de l'église. Il permet non seulement de valider la descente de charges de l'étude préalable faite par l'architecte, mais de connaître les contraintes dans le sol pour les contreforts, pour les piliers, pour les murs de façades et des bas-côtés, et dans la maçonnerie en général. L'analyse de l'ensemble de ces résultats permet de conforter le diagnostic s'ils sont en accord avec les désordres constatés et de définir avec précision les renforcements à mettre en œuvre.



Vaux d'étaieiment du portail d'entrée



LE MOT DE L'ARCHITECTE

L'église Notre-Dame de La Souterraine compte parmi les plus importants monuments du département de la Creuse. Vaste édifice, l'église présente une nef romane de cinq travées remontant au troisième tiers du XII^e siècle, dont la première, coiffée d'une coupole, supporte le clocher; puis un transept saillant, dont la croisée est également coiffée d'une coupole, et enfin un chœur à chevet plat de deux travées. Fortement "restaurée" par Paul Abadie au XIX^e siècle, l'église a vu sa silhouette profondément modifiée, à l'exception du clocher qui fut "épargné". Il dresse toujours son imposante masse de granit au-dessus d'un portail aux voussures polylobées, flanqué de tourelles polygonales et pyramidales. Ce clocher connu pourtant de nombreuses vicissitudes, bâti sur une architecture romane, certes massive, mais faiblement épaulée, il fut élevé sur une structure qui n'allait pas résister. Par deux fois sa partie supérieure s'effondra, laissant comme stigmates plusieurs styles d'arcatures décoratives ainsi que des baies transformées.

Comme l'a démontré l'étude préalable que nous avons établie en 2001, l'édifice fissuré et lézardé ne pouvait pas supporter une telle surcharge au vu des dispositions architecturales et des problèmes de sols. La première travée s'écartait au sud et au nord, la façade ouest basculait et les piliers nord-est et sud-est s'enfonçaient. L'arc doubleau séparant les deux premières travées était fracturé, les murs gouttereaux nord et sud lézardés et de nombreuses pierres fendues.

Le projet a donc consisté à consolider d'abord les maçonneries de la superstructure avant de reprendre les fondations. Seule la partie située depuis le sol jusqu'au sommet de la coupole de la première

travée a été traitée, la partie supérieure sera restaurée par la suite. Les descentes de charge, la modélisation et l'analyse, confiées au bureau d'études UBC, ont permis de positionner et de dimensionner les confortations internes des maçonneries aux points les plus sollicités de façon à recentrer les charges, rendre aux éléments structuraux leur cohérence et fretter les parties soumises aux écartements. Nous avons donc fait appel aux tirants en fibres de verre et de carbone.

Plusieurs niveaux de confortation ont alors été définis. Un frettage par deux nappes de tirants a été réalisé par forage de fibres de verre dans le fût du clocher; l'un au niveau de la coupole, l'autre à son sommet. Des tirants ont été mis en œuvre dans les murs gouttereaux nord et sud depuis la façade occidentale jusqu'à la seconde travée incluse afin de stopper le basculement de celle-ci. Les culées des contreforts ont été rendues solidaires des murs séparant les travées dans les bas-côtés par des tirants obliques répartis sur plusieurs niveaux. Enfin, plus spectaculaire, particulièrement délicat et parfaitement réalisé, deux tirants ont été forés depuis le fût du clocher jusqu'aux culées des contreforts, en diagonale, au-dessus de l'arc doubleau est de la première travée.

Ces travaux aujourd'hui achevés, ont pu être réalisés grâce à l'emploi de cette technique précise, en respectant le monument, et sans intervention lourde et destructive que d'autres techniques auraient immanquablement nécessitées.

Philippe VILLENEUVE
Architecte en Chef des Monuments Historiques
Architecte du Patrimoine

Fiche d'identification

Maître d'ouvrage :

Commune de La Souterraine
DRAC Limousin

Maître d'œuvre :

Philippe VILLENEUVE – ACMH
Frédéric POLO – VMH

Bureau d'études structures :

UBC Ingénierie

Bureau de contrôle :

NORISKO Constructions

Coût de l'intervention :

287 000 €

Délai d'exécution :

3 mois – 2007



LE MOT DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Suite à l'étude préalable réalisée par Ph. Villeneuve, ACMH, en 2000, qui portait sur la stabilité du clocher; et au vu des graves désordres qui régnaient dans les maçonneries, un programme de télésurveillance composé de cordes optiques et d'inclinomètres reliés à une centrale de traitement d'informations a été mis en place.

En mai 2003, ce dispositif signala une brusque inclinaison du clocher; prouvant que les maçonneries étaient instables. Des travaux d'urgence furent réalisés : mise sur cintres des arcs doubleaux nord, sud et ouest de la première travée de la nef, frettage par poutres métalliques de la partie basse du fût du clocher et pose de butons au devant de l'élévation ouest de l'édifice. Cela permit de stabiliser les maçonneries dans l'attente de la réalisation des travaux du présent programme.

Les travaux de confortation des maçonneries pour assurer la stabilité du clocher furent les suivants :

■ restauration des maçonneries intérieures et extérieures des deux premières travées : remplacement de pierres, réparations par brochage, recalages et remaillages au droit des parties fissurées, confortation interne des maçonneries par injection de coulis de chaux, enfin réfection totale des joints et enduits. Lors de la première tranche, ces travaux furent effectués en partie basse de l'édifice jusqu'au premier niveau du clocher;

■ chaînages en fibres de verre en périphérie des élévations de la première travée pour blocage des maçonneries ainsi qu'au droit des murs entre bas-côtés et nef pour ancrage de l'élévation ouest de l'édifice,

■ reprise des fondations des piliers de ces deux travées et des contreforts, mise en place d'une semelle de fondation en béton et réalisation de fondations spéciales par micro-pieux.

À l'issue des travaux de consolidation assurant la stabilisation des maçonneries, les butons au devant de l'élévation ouest furent déposés. La campagne de travaux s'est achevée par la restauration des parements du clocher sur l'ensemble du fût jusqu'aux arases, faisant l'objet du dossier de la tranche conditionnelle n° 1.

Le chantier a atteint ses objectifs, à la grande satisfaction de la commune de La Souterraine qui a pu rétablir la circulation au droit de l'église, sécuriser et restaurer l'édifice, plus haut clocher de Creuse et élément central de la cité médiévale.

Olivier PINTAUD
Responsable des Services Techniques



— La chirurgie du bâtiment —

183, boulevard Jean-Mermoz - 94550 Chevilly-Larue

Tél. : + 33 (0)1 49 73 20 07 - Fax. : + 33 (0)1 49 73 21 57

E-mail : renofors@renofors.fr

Web : www.renofors.com