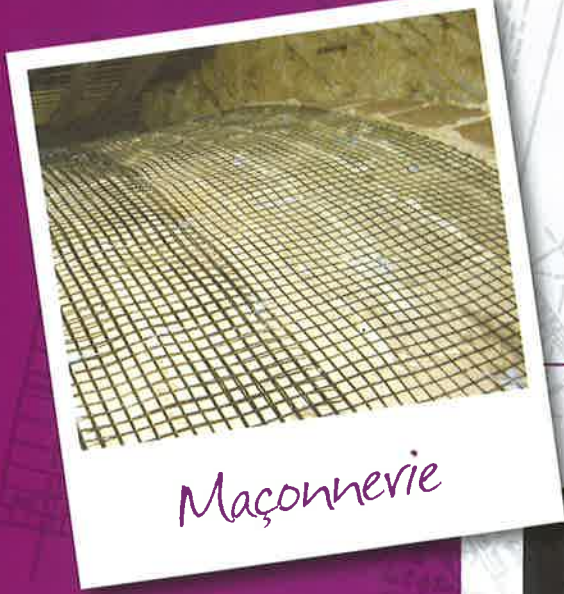


Zoom

Sur Moulins

TOUS PROCÉDÉS DE RÉPARATION ET DE
RENFORCEMENT DE STRUCTURES EXISTANTES



Maçonnerie

Avant-propos

La consolidation des voûtes de la caserne Villars à Moulins (Allier) a permis à RENOFORS d'expérimenter un nouveau brevet : le procédé RENOFORS COQUE. Ces voûtes remarquables du fait de leur faible élancement se devaient d'être non seulement conservées mais aussi restaurées et confortées, afin d'obtenir une surcharge d'exploitation compatible avec l'utilisation publique des lieux, prévue comme Centre National du costume de scène.

Le procédé RENOFORS COQUE face au problème posé p 1

La restauration et la consolidation des voûtes coupoles p 2

L'application du procédé p 2

La modélisation informatique .. p 3

La mise en œuvre du procédé RENOFORS COQUE p 4 à 7

L'ancrage des tirants et le renforcement des maçonneries p 4

L'exécution de la coque composite p 5

Le détail des principales phases p 6

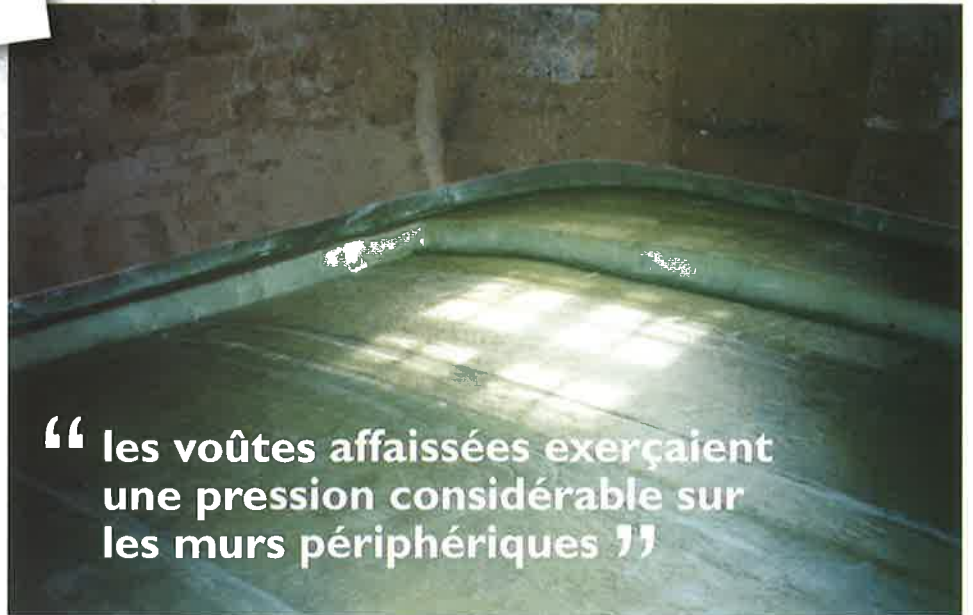
L'exécution des saignées et le positionnement des tirants métalliques p 6

La mise sous tension des tirants, détail des finitions p 7

Le mot de l'architecte p 8

Le mot du maître d'ouvrage ... p 8

La fiche d'identification p 8



“ les voûtes affaissées exerçaient une pression considérable sur les murs périphériques ”

RENOFORS assure la sauvegarde des 6 voûtes “sarrazines” de la Caserne Villars

LE PROCÉDÉ RENOFORS COQUE FACE AU PROBLÈME POSÉ

- Restaurer et consolider les voûtes coupoles en briques.
- Adapter les structures à une surcharge d'exploitation.

Pour augmenter l'inertie d'une voûte en pierres ou en briques et renforcer sa capacité portante afin qu'elle admette des surcharges d'exploitation plus conséquentes (500 kg/m²), le procédé RENOFORS COQUE permet de la rigidifier en collant avec des résines RENOFORS enduites sur son extradors un sandwich composite, constitué de tissus de verre associés à des panneaux légers à structure nids d'abeille, formant coque.

 **RENOFORS**

— La chirurgie du bâtiment —

LA RESTAURATION ET LA CONSOLIDATION DES VOÛTES COUPOLES

L'état des lieux :

- voûtes de 26 cm d'épaisseur en briques pleines hourdées au plâtre,
- portée entre murs 8,80 m x 8,80 m environ,
- flèche de la voûte 80 cm,
- appui sur la pierre de taille, avec ancrage de 10 à 15 cm,
- en extrados, présence d'un remblai d'environ un mètre en reins de voûte, variable au sommet,
- présence de tirants en fers plats ancrés dans les façades et les refends noyés dans le remblai.



Le constat des désordres

Les voûtes affaissées avaient entraîné les désordres suivants :

- effondrements ,
- joints creux vidés de leur mortier,
- fissures et fractures importantes dans certaines voûtes,
- déformations de courbure,
- déversements vers l'extérieur des murs.



L'APPLICATION DU PROCÉDÉ RENOFORS COQUE

La phase d'étude

- A** – Le relevé de chaque voûte par un géomètre.
- B** – La réalisation par modélisation informatique d'une importante étude de calculs en simulation a permis une meilleure connaissance des désordres et a conforté le parti constructif adopté, à savoir : **le renforcement des voûtes par une coque sandwich.**

L'aspect technique

La solution béton initialement envisagée :

déblaiement des voûtes	- 270 tonnes
mise en œuvre du béton	+ 610 tonnes
surcharge suscitée	+ 340 tonnes

Incidence sur la structure

La solution RENOFORS COQUE :

déblaiement des voûtes	- 270 tonnes
mise en œuvre des coques	+ 210 tonnes
(18 t. de composite + 192 t. de béton)	
allègement constaté	- 60 tonnes

Pas d'incidence sur la structure



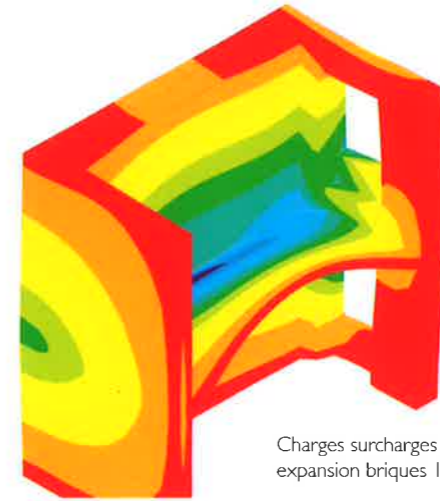
Conclusion

L'application du procédé RENOFORS COQUE par rapport à la solution béton permet de réduire la descente de charges de 400 tonnes, sans incidence sur la structure, améliorant même le comportement du bâtiment.

MODÉLISATION INFORMATIQUE

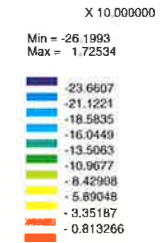
Structure ancienne sans tirants

Calcul élastique



Charges surcharges expansion briques 1%

ISOVALEURS
unité millimètre déformée



Renforcement : sandwich et monotorons T15

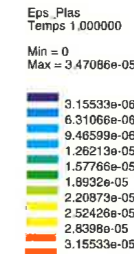
Calcul élastoplastique / Loi de Stasi



ZONES PLASTIFIÉES

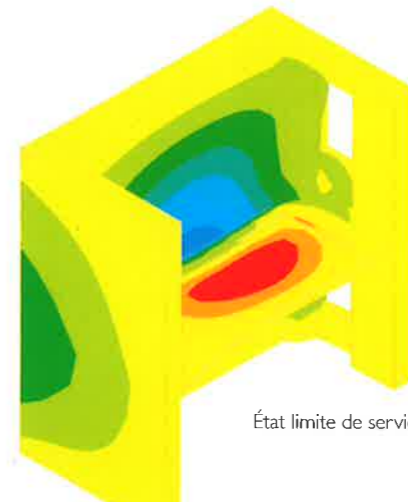
État limite de service

TENSEURS



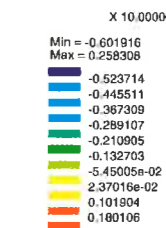
Renforcement : sandwich et monotorons T15

Calcul élastique



État limite de service

ISOVALEURS
unité millimètre déformée

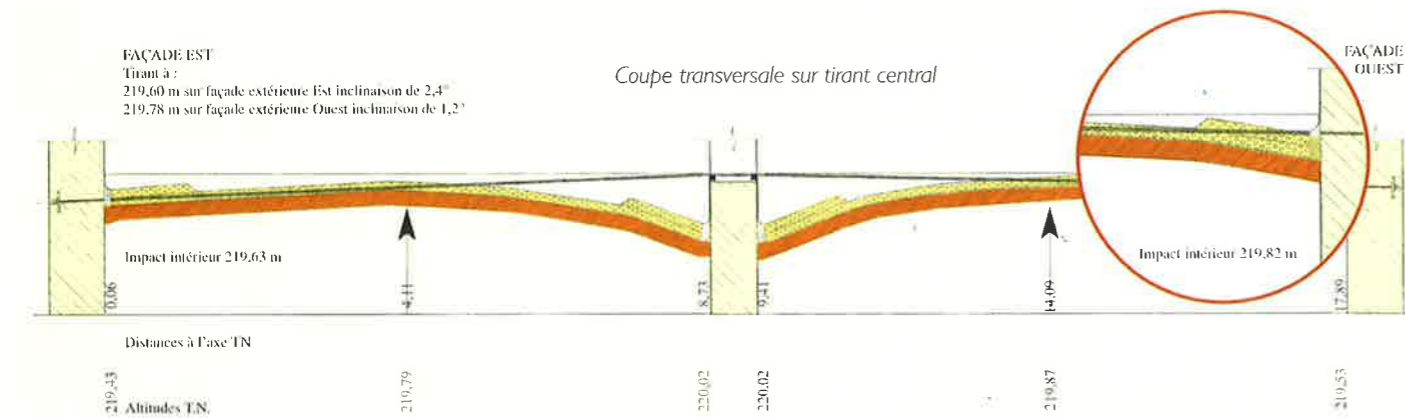


Malgré une modélisation isolée du reste du bâtiment les déplacements longitudinaux sont faibles et quasi nuls au droit du monotoron longitudinal. Dans ces conditions la post-contrainte exercée par ce tirant ne pourra entraîner de désordres.

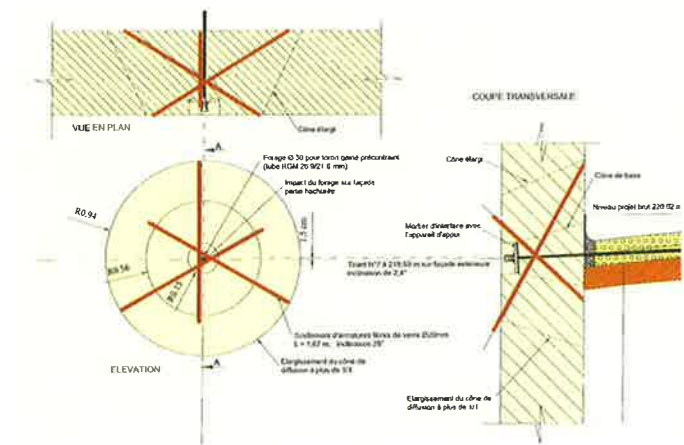
LA MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDÉ RENOFORS COQUE



De nombreux contrôles ont été rendus nécessaires afin de vérifier "in situ" l'ensemble des paramètres, notamment la recherche du véritable module de Young du complexe de voûtes.



I – L'ancrage des tirants et le renforcement des maçonneries de façades

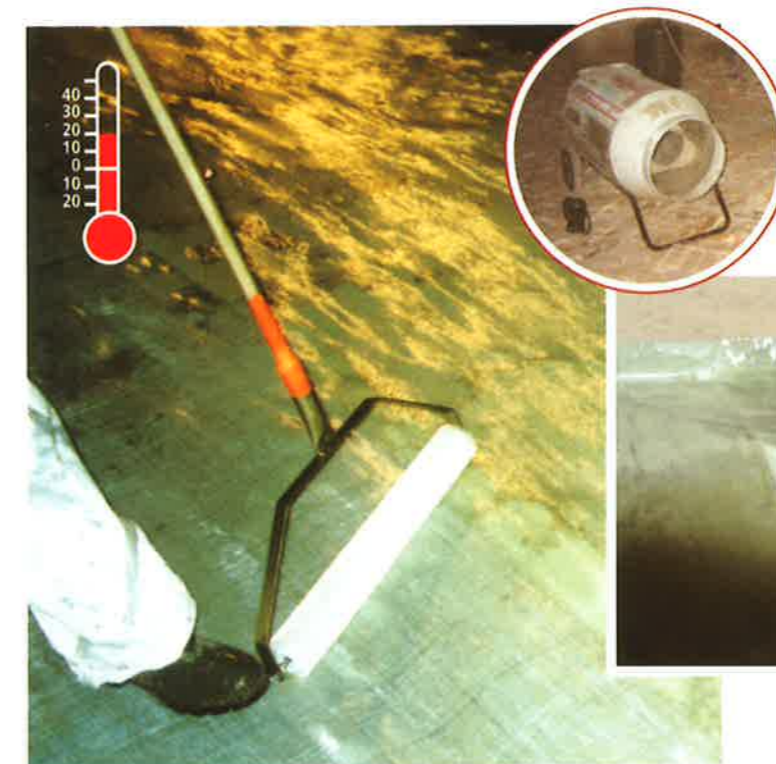


La présence de tirants pour assurer la compression de la contre-voûte, a nécessité le renforcement des cônes de répartition des platines d'ancrage situées en façade, par des tiges de fibres de verre formant trépied, elles-mêmes noyées dans la résine.



2 – L'exécution de la coque composite

Calepinage des caissons composites constituant la contre-voûte. Imprégnation en surface de la voûte par de la résine pure.

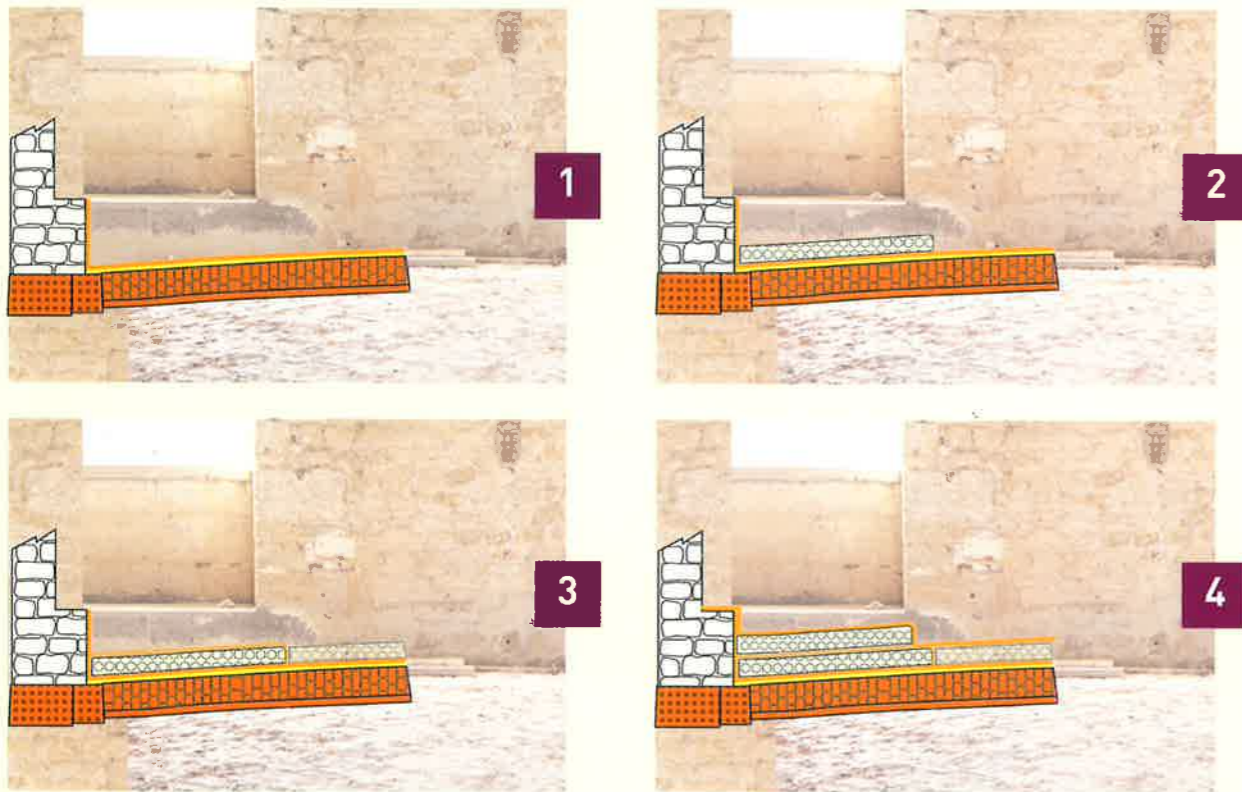


Pose des couches de tissus de fibres de verre et des caissons composite nid d'abeille, on distingue nettement les poutres cadres reprenant la périphérie des voûtes et contenant l'ensemble des efforts horizontaux.



Le détail des principales phases

- 1 – Imprégnation de la voûte par de la résine pure, exécution d'un tiré à zéro.
Pose des 3 couches de tissus de fibres de verre.
- 2 – Pose des premiers éléments du caisson périphérique, remplissage à la résine des jointures et des vides éventuels.
- 3 – Pose d'un tissu sur les éléments du caisson périphérique déjà mis en place et des éléments du caisson intérieur.
- 4 – Pose des éléments supérieurs du caisson périphérique avec remplissage à la résine des jointures et des vides éventuels. Pose des 3 couches de tissus de fibres de verre.

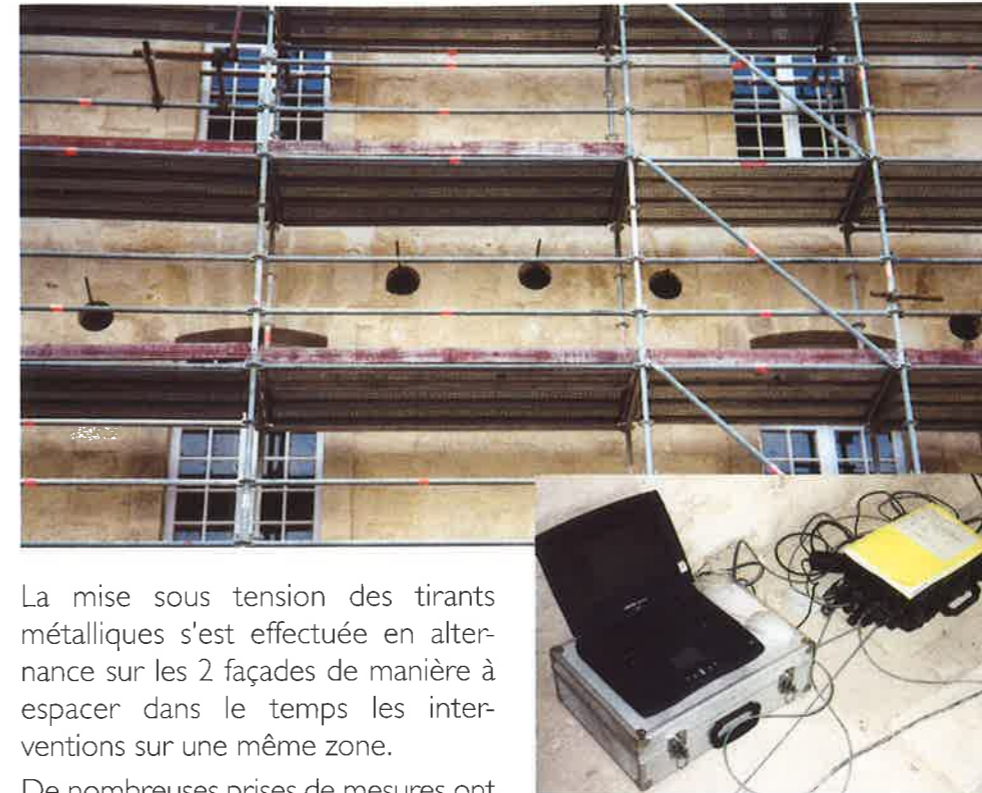


3 – L' exécution des saignées et le positionnement des tirants métalliques



La courbure de la voûte nécessite l'incision de la coque sandwich pour permettre le passage des tirants métalliques.

4 – La mise sous tension des tirants métalliques avec contrôle de mesures



La mise sous tension des tirants métalliques s'est effectuée en alternance sur les 2 façades de manière à espacer dans le temps les interventions sur une même zone.

De nombreuses prises de mesures ont simultanément été opérées.

5 – La reconstitution de la coque composite après mise sous tension

Après mise sous tension, les saignées sont colmatées par un béton de résine et recouvertes d'une bande de tissu de fibres de verre.

Les voûtes sont désormais prêtes à être recouvertes d'un remplissage de béton léger (granulats d'argile) qui formera le niveau brut du plancher projeté.



LE MOT DE L'ARCHITECTE

La caserne Villars, dont la construction débuta en 1755, devait à l'origine comporter des planchers en bois entre étages, mais rapidement l'autorité militaire exigea la réalisation de voûtes afin d'obtenir un bâtiment incombustible. Seuls quatre planchers en bois furent exécutés. Compte tenu de la forme carrée des principales salles et du peu d'espace existant entre les étages, on opta pour la formule des voûtes en briques dites "sarrazines" qui présentaient la particularité d'être appareillées à 45° par rapport aux murs des salles. Comme on l'a vu, le faible espace disponible obligea les constructeurs à réaliser des voûtes extrêmement plates, à mi-chemin entre des coupoles et des voûtes en "arc de cloître", la poussée de celles-ci étant reprise par des tirants métalliques forgés, ancrés dans les façades, et situés au-dessus des extradados.

Au cours du temps, elles commencèrent à s'affaisser et à exercer une pression considérable sur les murs périphériques lorsque furent entrepris des percements inconsidérés de trémies nécessitant le sectionnement pur et simple des tirants. Pour mener à bien les travaux de restauration, il était indispensable de mettre au point un système de confortement susceptible de maintenir en état la structure des ouvrages, tout en leur restituant leur solidité initiale. C'est alors qu'à la suite d'un appel d'offres sur performances, RENOFORS proposa l'application d'un de ses nouveaux procédés consistant à doubler l'extrados des voûtes par des coques synthétiques scellées avec des résines époxydiques. D'autre part, des tirants métalliques furent rétablis sur l'extrados des voûtes pour annuler tous les efforts de poussées résiduels. Enfin, pour restituer l'horizontalité des planchers, le remplissage de l'extrados des voûtes fut réalisé en billes d'argile expansé solidarisiées en surface par un béton de chaux naturelle.

François Voinchet
Architecte en Chef des Monuments Historiques



LE MOT DU MAÎTRE D'OUVRAGE

La réhabilitation des ex-casernes du XVIII^e siècle, en Centre National du costume de scène, a nécessité, plus qu'il est généralement d'usage dans nos travaux de restauration patrimoniaux, la mise en œuvre de solutions très innovantes et performantes, après obtention d'un avis technique expérimental (ATEX). L'immeuble a été classé "MH" en 1984 dans des conditions d'urgence extrême, alors que la démolition, déjà entreprise, avait provoqué des traumatismes très importants, à la limite de l'irréversible.

Dans ce contexte, après restauration du clos, du couvert et de l'escalier monumental, le sauvetage de six voûtes "sarrazines" du plancher haut du 1^{er} étage, justifiait une intervention exceptionnelle. Celle-ci portait sur la restauration et la consolidation de ces voûtes surbaissées, sur plan carré de 8,50 m. de côté, sans retombée en façade, derniers vestiges authentiques d'une mise en œuvre particulièrement savante dans son appareillage en brique et ses armatures tendues en fer plat.

Après appel d'offres sur performance élaboré par la maîtrise d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, l'entreprise RENOFORS, avec le concours de Monsieur G. LAMBOLEY, polytechnicien, a finalisé après modélisation une technique d'intervention respectueuse de la conservation des ouvrages existants, par la mise en œuvre d'une coque composite sur l'extrados de la voûte existante, complétée par des tirants actifs précontraints.

La performance a également résidé dans la mise au point du protocole d'intervention, particulièrement délicat, assurant le contrôle continu du procédé de mise en œuvre, du respect des délais contractuels et des coûts d'objectif.

M-J. Carroy-Bourlet
Conservateur Régional
des Monuments Historiques

J-G. Sannajust
Ingénieur du Patrimoine
Adjoint au CRMH

Fiche d'identification

Maître d'ouvrage :
DRAC Auvergne

Maître d'œuvre :
François VOINCHET – ACMH
Jean BOURDET,
Architecte du Patrimoine
Jean-Yves DUBOIS – VMH

Bureau d'études structures :
Gilbert LAMBOLEY

Bureau de contrôle :
SOCOTEC

Entreprise mandataire :
DAGOIS

**Coût de l'intervention
de RENOFORS :**
518 730 €

Délai d'exécution :
4 mois – 2002

 **RENOFORS**

— 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