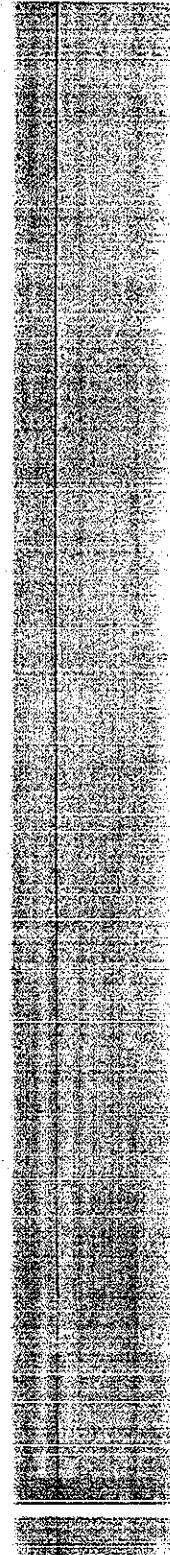


Considerando che i movimenti sismici danneggiano maggiormente le torri, questo sistema è stato disegnato in modo da rinforzare queste strutture a tensione con quattro cavi pretesi collegati mediante due travi a croce di cemento armato: una sulla cima e l'altra alla base della torre. I cavi sono pretesi a 10 tonnellate e assorbono tensioni.

Questo sistema è stato applicato con successo in edifici danneggiati nel terremoto del 1973 in Messico. Questo terremoto ha danneggiato più di 1000 monumenti negli stati di Oaxaca, Morelos, Tlaxacala e Vera Cruz.

Questi lavori sono stati eseguiti dal Segretariato degli Insediamenti e delle Opere Pubbliche del Messico.



FRANÇOIS LEBLANC

CONSOLIDATION DE VOUTES EN MACONNERIE
A L'AIDE D'INJECTIONS D'EPOXY SOUS PRESSION
FORT N° 1 - LAUZON, QUEBEC (CANADA)

L'objet de cette communication sera de vous présenter, avec le plus de détails techniques possibles, une expérience d'injection d'époxy que nous avons vécue à Lauzon il y a quatre ans. En fait, le site sur lequel s'est déroulée cette expérience se trouve juste en face de Québec, sur la rive sud du fleuve St-Laurent. L'expérience en question consistait essentiellement à injecter les voûtes en briques d'un vieux fort canadien déclaré monument historique et appartenant au gouvernement fédéral. Il s'agit du Fort n. 1 à Lauzon.

Etant donnée la nature de cette communication, je ne me permettrai que quelques mots sur l'histoire du fort et sur la philosophie de restauration qui a été adoptée pour le projet.

Surplombant le Saint-Laurent, à 125 mètres au-dessus de son niveau, dissimulé et presque invisible, le Fort n. 1 fait partie d'une série de trois ouvrages de défense érigés par les canadiens en raison des craintes d'une invasion américaine par la vallée de la Chaudière et le Saint-Laurent. Le journal « Le Canadien » du 14 août 1865 nous relate en ces termes les débuts de sa construction:

« les travaux commencés depuis quelques temps à Lévis et la présence d'un grand nombre de soldats stationnés dans le voisinage ont répandu une animation et une activité extraordinaires dans cette ville ... Les visiteurs dont un bon nombre sont des touristes américains affluent tous les jours à Lévis sur le site des travaux militaires, dont l'accès est très facile ... On calcule qu'il faudra deux ans pour terminer les travaux de défense. Le nombre de soldats employés dans le camp

militaire et aux fortifications est de 1.100 ... Outre les soldats, un certain nombre de travailleurs sont employés aux travaux; leur nombre sera augmenté graduellement, paraît-il, à mesure que l'ouvrage progressera ».

De fait, la main-d'oeuvre militaire britannique mit huit ans et non sans peine, à le terminer au coût de 60.000 livres sterling, soit \$ 300.000 de cette époque. La signature du traité de Washington en 1872 fait disparaître le climat de tension entre l'Angleterre et les Etats-Unis. A compter de cette date, cet emplacement sert à diverses fins militaires: successivement, on y retrouve un camp d'exercice pour l'école d'artillerie et la milice, des entrepôts de munitions, un refuge pour les régiments canadiens. En somme, le Fort n. 1 n'a pas connu une histoire très glorieuse, mais il n'en demeure pas moins un témoin important d'un vaste plan de réorganisation de la défense du territoire colonial britannique.

Un budget très limité ayant été accordé pour la restauration du fort, le concept de restauration a proposé l'enfouissement d'une partie du Fort n. 1 et la restauration de la partie la moins endommagée.

Parmi les éléments à restaurer, on trouvait une magnifique série de voûtes en briques dans les casemates et les caponnières de gorge et de droite. Ces voûtes de cinq briques d'épaisseur étaient dans un état de détérioration passablement avancé de sorte qu'il fallait soit les consolider soit les renforcer d'une manière quelconque pour garantir la sécurité du public.

Après avoir fait l'inventaire et l'analyse des différentes techniques à notre disposition notre choix s'est arrêté sur les époxy comme matériaux et technique offrant le plus de chances de succès. En effet, ceux-ci alliaient force, résistance à l'humidité et fluidité variable. Ils offrent en outre le très grand avantage suivant: lorsqu'ils durcissent après avoir été injectés, ils demeurent stables en volume; il n'y a aucun retrait ou expansion au séchage, uniquement un dégagement de chaleur. Le fait d'injecter les voûtes plutôt que de les démonter ou de les renforcer par un moyen quelconque nous apparaissait comme étant le moyen le plus économique de résoudre notre problème tout en respectant l'intégrité historique du monument.

Description générale des travaux d'injection.

La séquence habituelle de ce genre de travail peut se résumer comme suit:

Forages: Les forages d'un diamètre de 1.5 cm et de 40 cm de pro-

fondeur sont effectués à environ tous les 40 cm de la surface à injecter. On dispose les forages en quinconce dans les joints des briques.

La profondeur des trous correspond généralement à l'écartement en plan de ceux-ci; il peut néanmoins être nécessaire de modifier cette disposition afin de satisfaire à des conditions locales telles que la présence anormale de fissures ou de maçonnerie de qualité différente.

Nettoyage: La paroi interne de ces trous est nettoyée à l'aide d'une brosse afin d'en extraire le plus possible les poussières et de s'assurer de leur libre passage après forage.

Tuyau: Les tuyaux servant d'amener au produit d'injection sont mis en place. Ils peuvent être soit de plastique, comme dans le cas présent, soit en cuivre. Les tuyaux sont collés en place à l'aide d'une résine d'époxy du type de mélange une partie de résine pour une partie de catalyseur.

Injection proprement dite: Ce travail est effectué à l'aide d'une pompe et d'un pistolet d'injection par deux ouvriers spécialisés. La résine ainsi que le catalyseur sont en réserve dans deux récipients séparés dans la pompe. Celle-ci, par un jeu d'engrenages spéciaux, admet les produits dans une proportion bien constante, généralement deux volumes de résine pour un volume de catalyseur. Toujours par des conduites séparées, les produits ainsi mesurés se rendent jusqu'au pistolet d'injection. Ce n'est qu'à partir de ce moment que le mélange résine-catalyseur se produit et nous avons ainsi le départ de la réaction chimique du produit final.

Le pistolet d'injection est introduit dans un tuyau de raccordement et l'ouvrier commande l'arrivée du mélange dans la zone à injecter. On commence généralement les travaux dans la section la plus basse et la moins perméable. Le pistolet d'injection est doté d'un contrôle de pression avec cadran de 0 à 1.5 kg/cm² ainsi que d'une valve d'arrêt pour interrompre le débit du produit.

Au début de l'opération, la pression initiale pourrait être très faible ou au contraire très élevée, selon la nature de la maçonnerie et l'ampleur de la fissuration.

Si la pression est élevée, il faut s'assurer que ce n'est pas dû uniquement à des obturations naturelles facilement déplaçables comme des morceaux de briques ou de mortier. On augmente la pression de 0.15 à 0.20 kg/cm² pour un temps très court; si la pression demeure, on abandonne alors les travaux d'injection à cet endroit et on passe au trou suivant. Dans ces cas, il ne se produit généralement pas de suintement de la maçonnerie ni de communication du produit dans les trous adjacents.

Si au contraire la pression initiale est très faible ou encore nulle, l'ordre des opérations est légèrement modifié. On procède alors à l'injection simultanée de plusieurs trous soit de 3 à 5. Cette façon de travailler permet d'obturer une partie des fissures très larges, en laissant la possibilité au produit injecté de durcir partiellement et ainsi, de procurer une augmentation valable de la pression d'injection. Cet accroissement de la pression permettra au mélange de se rendre dans les fissures les plus fines ou d'accès difficile.

Il est très important de surveiller constamment la quantité de produit utilisé dans une même zone. Toute accumulation exagérée de produit à un endroit donné provoquerait un dégagement trop important de chaleur qui pourrait détériorer la qualité du travail déjà exécuté.

Lors des opérations d'injections, les coulisses du produit sont nettoyées immédiatement, et les fissures obstruées soit avec de la paraffine dans le cas des petites fissures, soit avec un mélange de ciment à prise rapide de type « Speed-Crete » ou « Quick Plug » dans le cas des fissures plus importantes.

Après durcissement des volumes consolidés, les tuyaux sont enlevés et la surface de la voûte est nettoyée proprement. L'opération d'injection est alors terminée.

Description des travaux dans la caponnière de gorge.

Les travaux ont débuté en mars 1977 dans la caponnière de gorge. Il a été difficile au début d'obtenir un chauffage adéquat. Nous avons une température inférieure à 15°C à l'intérieur des trous. De plus, il y a lieu de remarquer qu'il s'est produit ce jour là des fuites d'eau qui auraient obligé l'arrêt du travail si la résine d'époxy n'avait pas été compatible à la présence d'humidité.

Les produits que nous avons utilisés sont: le AE Concrevisive 1050-15 une résine d'époxy à viscosité moyenne, et le AE Concrevisive 1380, une résine d'époxy à très basse viscosité. Nous utilisons le produit le plus épais pour les grosses fissures, ce qui nous permettait d'utiliser moins de produits et par conséquent d'améliorer le rendement au mètre carré. C'est à la suite de plusieurs essais que nous en sommes venus à l'utilisation de ces deux produits combinés. Il est très important de faire plusieurs essais en chantier avant de finaliser les devis et d'aller de l'avant avec de telles techniques d'injection, car les produits sont très chers.

Les chiffres suivants vous donneront une bonne idée du rendement et du coût des travaux d'injection réalisés dans la caponnière de gorge.

Nombre de litres de produit par trou:	1.5 litres
Nombre de trous:	650 trous
Surface couverte:	110 m ²
Profondeur des trous:	40 cm
Volume de maçonnerie:	45 m ³
Consommation:	14 litres/m ²
Volume rempli par résine époxy:	3.1%
Temps (1 à 4 machines selon besoins):	284 heures
Coût	\$ 154.00/m ²

Chaque machine à injection requiert deux ouvriers pour l'opérer, et les travaux sont dirigés par un contremaître surveillant.

Description des travaux dans la caponnière de droite.

Les travaux dans la caponnière de droite se sont déroulés sensiblement de la même façon que dans la caponnière de gorge avec la variante suivante: dans une zone particulière de cette caponnière les travaux nécessaires à une mise en état préliminaire ont été considérables, car la détérioration atteignait plus de deux rangs de briques.

Ces travaux de reprise préliminaire ne nous permettaient pas d'évaluer précisément la quantité de résine dont nous aurions besoin pour l'injection; afin d'économiser des litres de résine, nous avons procédé à une injection préliminaire de 25 litres de coulis de ciment. Cette quantité fut consommée dans trois trous de forage. Les trous adjacents ne laissant pénétrer qu'une faible quantité de coulis, nous sommes donc revenus aux injections d'époxy.

Recommandations

En nous basant sur l'expérience et les connaissances acquises lors de ces travaux d'injection au Fort n. 1 de Lauzon, nous formulons les recommandations suivantes pour chacune des trois phases principales, soit la préparation des surfaces, l'utilisation des résines elles-mêmes et le contrôle de qualité tout au long des travaux.

1. Préparation des surfaces et des travaux

La grandeur et le nombre des fissures pourront être possiblement diminués par une réparation préliminaire, plus ou moins importante des parties

à injecter. Ces réparations pourront être faites soit en remplaçant des matériaux, en colmatant au mortier ou en injectant à l'aide de coulis de ciment.

Le produit servant à la pose des tuyaux de plastique adhérant facilement au matériel environnant, il faut donc en employer le moins possible en évasant l'entrée des trous.

2. Utilisation des résines d'époxy

La température ayant une forte influence sur la cure du produit, nous conseillons de bien chauffer la maçonnerie avant d'entreprendre les travaux.

Lors de nos travaux, les pressions d'injection variaient de 0.15 à 0.70 kg/cm² avec comme moyenne générale 0,32 à 0.35 kg/cm². Nous n'avons remarqué aucun déplacement de maçonnerie dû à une pression trop élevée. Il est à remarquer qu'une pression trop faible ou nulle ne permet pas d'assurer un travail de qualité.

3. Contrôle de qualité

Tout au long de nos travaux, le contrôle de qualité était assuré par la présence continue du représentant d'un laboratoire de construction. Aux moments opportuns, il faisait prélever des échantillons de maçonnerie par carottage et les apportait au laboratoire pour analyse. Sa présence s'est avérée indispensable pour le succès de l'opération qui s'est terminée en 1978.

Si vous venez au Canada, je vous invite à passer par Québec pour constater par vous-même le résultat des travaux que je vous ai décrits.

NOM: ARCH. FRANÇOIS LEBLANC - Directeur de l'ICOMOS.

THEME: STRUCTURES

TITRE: CONSOLIDATION DE VOUTES EN MACONNERIE A L'AIDE D'INJECTIONS D'EPOXY SOUS PRESSION.

RESUME:

En 1977, la division régionale de Parcs Canada à Québec entreprenait la restauration d'un ancien fort britannique, le Fort N° 1 situé à Lauzon près de Québec.

Une partie des travaux de stabilisation des voûtes en brique des casemates et des caponnières comprenait l'injection d'époxy sous pression.

Cette communication décrit les raisons du choix de cette technique et présente des recommandations sur la préparation des surfaces, l'utilisation des résines et le contrôle de qualité des travaux.

A titre d'exemple, pour une maçonnerie de cinq briques d'épaisseur, et sur une surface de 110 m², on a foré 650 trous de 40 cm de profondeur, injecté en moyenne 1.5 litres de produit par trou, pour un coût de revient de \$ 154.00/m².

NAME: ARCH. FRANÇOIS LEBLANC - Director of ICOMOS.

SUBJECT: STRUCTURES

TITLE: THE STABILIZATION OF BRICK VAULTS USING INJECTIONS OF EPOXY RESINS.

SUMMARY:

In 1977 the Quebec Regional Division of Parks Canada undertook restoration work on a former British fort, N° 1 at Lauzon near Quebec.

A part of the work of stabilizing the brick vaults of the casemates and caponiers involved pressure grouting using epoxy resins. The paper explains the reasons for the choice of this technique and gives advice on the preparation of the surfaces, the use of the resins and subsequent quality inspection.

An example given is that a five-course brick structure 110 sq. m. in area in which 650 holes were drilled to a depth of 40 cm. and an average of 1.5 litres of grout was used per hole. The cost worked out at \$ 154.00 per sq. m.

NOMBRE: ARQ. FRANÇOIS LEBLANC - Director del ICOMOS.

TEMA: ESTRUCTURAS

TITULO: LA ESTABILIZACION DE BOVEDAS EN LADRILLO POR MEDIO DE INYECCIONES DE RESINAS EPOXICAS.

SUMARIO:

La división Regional de Parques Canadá en Quebec se encargó en 1977 de los trabajos de restauración en un antiguo fuerte británico, el Fuerte No. 1 en Lauzon, cerca de Quebec.

Parte de los trabajos de estabilización en las bóvedas de ladrillo de casamatas y caponeras incluyó la inyección de resinas epóxicas a presión.

Esta ponencia describe las razones por las que se eligió esta técnica y presenta recomendaciones para preparar las superficies, la utilización de las resinas y el control de calidad de los trabajos.

Como ejemplo se menciona un elemento de cinco hiladas de ladrillo de espesor, en una superficie de 110 m², en la que se practicaron 650 perforaciones de 40 cm. de profundidad, que recibió en promedio 1.5 litros de inyección por perforación. El costo se elevó a \$ 154.000/m².

Имя : Франсуа Леблан, Архитектор

Предмет : СТРУКТУРА

Название : Стабилизация кирпичных сводов при употреблении продукта из древесной смолы "эпокси"

Краткое Описание :

В 1977 году местным отделом Организации Канадских Парков города Квебека была предпринята реставрация старинного Британского форта, форта № 1, находящимся в Лозоне, около Квебека.

Часть работ по стабилизации кирпичных сводов каземат и капоньер состоят из вливания, под давлением, продукта из древесной смолы: "эпокси".

Настоящее сообщение описывает причины выбора этой техники и излагает указания для приготовления поверхностей, употребление древесной смолы и качественный контроль работ.

Для удобства следует привести следующие цифры и качества примера : для постройки со стенами толщиной в пять кирпичей и для поверхности в 110 кв. м. было пробуровлено 650 дыр глубиной в 40 сантиметров каждая. Ин'ектировано в среднем 1.5 литров продукта в каждое отверстие, с общей стоимостью за каждый квадратный метр равной \$ 154,- .

NOME: ARCH. FRANÇOIS LEBLANC - Direttore dell'ICOMOS.

TEMA: STRUTTURE

TITOLO: IL CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MATTONI TRAMITE INIEZIONI DI RESINE EPOSSIDICHE.

SOMMARIO:

Nel 1977 la divisione regionale di Parks Canada a Québec intraprese il restauro di un antico Forte britannico, Fort No. 1 situato a Lauzon, vicino Québec.

Una parte dei lavori di consolidamento delle volte di mattoni delle casamatte e delle capponiere compresero delle iniezioni di resine epossidiche.

Il saggio spiega le ragioni della scelta di tale tecnica dando consigli sulla preparazione delle superfici, l'uso delle resine e la successiva ispezione qualitativa.

Come esempio viene esposto quello di una struttura di cinque mattoni di spessore, su una superficie di 110 m², nella quale furono praticati 650 fori per una profondità di 40 cm. In ogni foro furono iniettati circa 1.5 litri di prodotto. Il costo ammontò a \$ 154.00 per m².