Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 46 (1983)

Artikel: Renforcement des maçonnneries par injection de résine epoxy
Autor: Gemert, Dionys van / Bosch, Marc Vanden
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35875

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: 04.07.2025

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

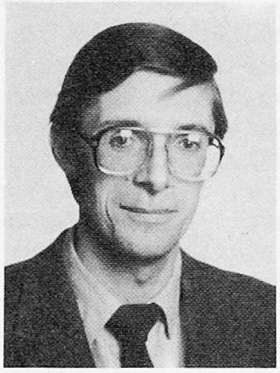
Renforcement des maçonneries par injection de résine epoxy

Verstärkung von Mauerwerk durch Injektion von Epoxidharz

Reinforcement of Masonry by Injection of Epoxy Resin

Dionys VAN GEMERT
Prof. Dr. Ir.
Katholieke Univ. Leuven
Leuven, Belgique

Marc VANDEN BOSCH
Ir.
Katholieke Univ. Leuven
Leuven, Belgique



Dionys Van Gemert, né en 1948, est promu ingénieur civil à la Katholieke Universiteit Leuven en 1971 et docteur en Sciences appliquées en 1976. Il est professeur au Départment de Construction de la K.U. Leuven. Ses recherches se rapportent aux applications des matières synthétiques dans la technique de construction.

Marc Vanden Bosch, né en 1955, est promu ingénieur civil à la Katholieke Universiteit Leuven en 1979. Depuis trois ans, il fait des recherches sur l'application des matières synthétiques dans le domaine de la réparation et de la restauration. Actuellement il est nommé ingénieur de projet à l'I.R.S.I.A.

RESUME

Les résultats d'un programme de recherche sur le renforcement des maçonneries par injection de résine epoxy sont présentés. L'article expose la technique d'injection ainsi que les résultats obtenus pour une maçonnerie du 17ème siècle. Les possibilités de contrôle, basé sur l'analyse infrarouge, ont été étudiées.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Resultate eines Untersuchungsprogramms über die strukturelle Renovation historischen Mauerwerks durch Injektion von Epoxidharz werden vorgestellt. Das Injektionsverfahren wird beschrieben, ebenso wie die mechanischen Charakteristiken eines injizierten Mauerwerks aus dem 17. Jahrhundert. Die Möglichkeiten einer Kontrollmethode, beruhend auf einer Infrarotanalyse injizierter Ziegel, werden angegeben.

SUMMARY

The results of a research program on the structural reinforcement of historic masonry by injection of epoxy resin are presented. The injection procedure is described, as well as the mechanical characteristics obtained for a 17th century masonry. The possibilities of a control method, based on infra-red spectroscopic analysis are indicated.

1. INTRODUCTION

Le développement d'une gamme très étendue de résines artificielles a donné lieu à des évaluations et des changements importants non seulement dans la technique de construction, mais aussi dans les techniques de conservation, de renovation et de restauration des structures de génie civil et des bâtiments historiques. Les résines artificielles sont appliquées en temps que barrière à la succion d'eau dans les murs, pour le durcissement superficiel des matériaux pierreux, le renforcement des structures en béton par collage de tôles en acier à la surface du béton, l'injection des fissures, etc.

Une technique nouvelle pour la restauration et le renforcement de maçonneries anciennes dégradées, est basée sur l'injection d'une résine epoxy dans la masse de la maçonnerie. En Belgique cette technique a déjà été appliquée avec un succès modéré dans quelques cas pratiques de restauration. Afin d'optimaliser le procédé d'injection et la technique d'exécution et d'améliorer les caractéristiques mécaniques des maçonneries injectées, un programme d'essais est en cours d'exécution au Laboratorium Reyntjens du Département des Constructions Civiles de la Katholieke Universiteit Leuven à Leuven, ceci en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique de la Construction (C.S.T.C.) et la société Emergo Chemical Coating N.V. (E.C.C.). Ces recherches sont subventionnées par l'Institut Belge pour la promotion de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.). A la suite des premiers résultats très encourageants, l'instauration d'un projet pilote à Herentals a été approuvée par le Ministère "Ministerie van Nederlandse Cultuur" de Belgique. Il s'agit d'un ancien hôpital avec chapelle du début du 17ème siècle (Fig. 1). Les murs porteurs de ce bâtiment nécessitent un renforcement structurel en vue de l'aménagement des anciens locaux en bureaux.

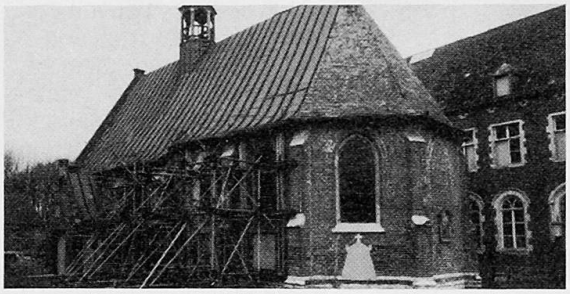


Fig. 1 Ancien hôpital et chapelle en annexe à Herentals (Belgique)

2. DESCRIPTION DU PROCEDE D'INJECTION

La résine d'injection est une résine epoxy à deux composants. L'injection se fait à l'aide d'une "pompe à deux composants". La résine et le durcisseur sont stockés dans deux réservoirs séparés. Ces composants sont aspirés, en proportion appropriée, et introduits dans la tête d'injection dans laquelle est réalisé un mélange "intime". Le début de la réaction et l'accroissement de la viscosité qui l'accompagne, sont retardés jusqu'au moment de l'injection dans la maçonnerie. La pression d'injection peut être contrôlée par l'operateur à l'aide d'un manomètre.

L'injection se fait d'un coté du mur. L'opération d'injection est entamée à la partie inférieure du mur via des trous forés, régulièrement espacés dans le sens horizontal et vertical. Les distances varient de 100 à 150 mm, en fonction de la perméabilité de la maçonnerie et de la viscosité de la résine. Des tubes en plastiques pour l'injection de la résine sont inserrés dans les trous et fixés par un ciment rapide (Fig. 2). Il est nécessaire d'imperméabiliser la face du mur, opposée à la face d'injection, afin d'éviter toute perte de résine. A des surfaces extérieures, l'application d'une barrière à base de ciment rapide n'est pas admis. Deux types de traitement ont été examinés pour assurer leur étanchéité : une impregnation par ester d'éthyl d'acide silicique et une impregnation aux silicates de sodium mélangés à une pâte de papier. Le premier traitement donne de meilleurs résultats, bien que quelques pertes locales de résine puissent se produire. Il est possible de remédier à ce problème par l'application de ciment rapide.

La porosité et la capacité d'absorption de la maçonnerie sont les caractéristiques déterminantes pour une injection. Les particules isolées de la maçonnerie se sont

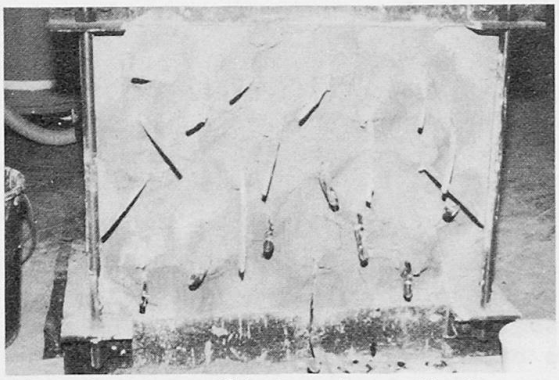


Fig. 2 Tubes d'injection, fixés par un ciment rapide.

agglomérées, grâce à une injection rigoureuse et donnent naissance à une masse pratiquement homogène qui présente des caractéristiques mécaniques accrues.

Après injection, la résine epoxy demeure encore fluide pendant un certain temps, dite "pot-life". Durant cette période la résine peut pénétrer dans les cavités et fissures par gravitation. Cet effet est d'autant plus important que la résine à un temps de durcissement plus long, ce qui est favorable pour une bonne impregnation et remplissage des pierres. Le degré de pénétration de la résine influence favorablement les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie injectée. Ceci a été constaté par un essai sur chantier, où une zone de 1 m x 0,6 m au milieu d'un mur avait été injectée. Aux bords de cette zone la résine s'est répendue dans les zones non injectées. Les essais de compression sur des cylindres pris au centre de la zone injectée montraient des résultats bien plus élevés que pour les zones extérieures. On a même noté une augmentation de 50 % [2]. Une méthode pour la délimitation de la zone à injecter a été mise au point. La solution consiste à injecter de la résine isocyanate en bandes étroites, bornant la zone à injecter suivant des axes verticaux, et éventuellement suivant un axe inférieur si l'injection est entamé à un niveau intermédiaire. Dans certains cas cette technique permet de réaliser une économie importante. Vu le degré de renforcement réalisable avec une injection d'epoxy (des résistances à la compression élevées peuvent être atteintes), il ne sera pas toujours nécessaire d'injecter tout le massif de la maçonnerie. Une limitation à des zones réduites donne des résultats satisfaisants (Fig. 3). La largeur et la disposition de ces zones sont à determiner au moyen d'un calcul statique de la structure.

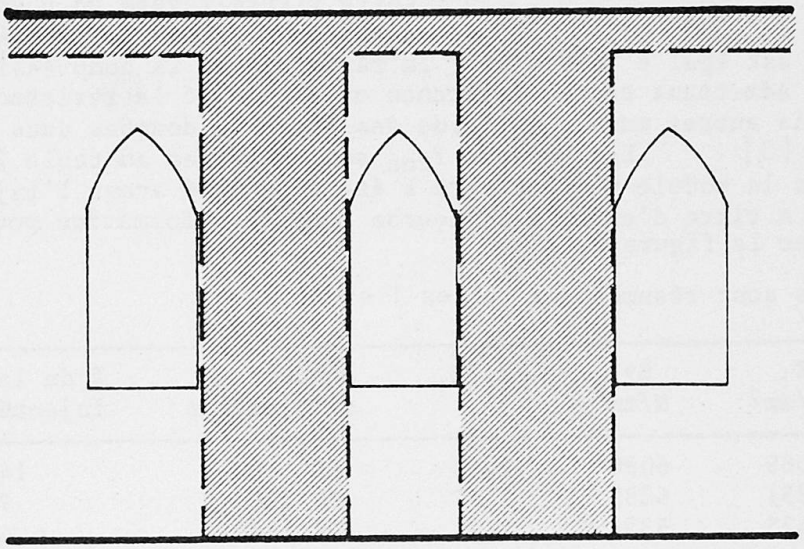


Fig. 3 Création d'une ossature par injection

3. EVALUATION ET CONTROLE

3.1. Généralités

L'application de résines artificielles pour des renforcements de structures exige un contrôle rigoureux de la qualité des produits avant et pendant leur mise en oeuvre. Seule une qualité constante et supérieure peut garantir un renforcement optimal. Ce contrôle est basé sur des essais d'identification par spectre infra-

rouge, l'équivalent d'epoxy, la densité, l'indice d'amine du durcisseur, la perte au feu, la viscosité, extraction de matières sèches [1].

Des essais préliminairs mécaniques et d'identification sont effectués simultanément. Si ces essais d'identification pendant la mise en oeuvre correspondent à ceux notés lors de l'identification, on admets que les caractéristiques mécaniques suivent les mêmes lois.

La détermination des caractéristiques mécaniques de la maçonnerie après injection est un problème délicat. Jusqu'à ce jour la méthode la plus efficace consiste à forer des carottes cylindriques aux endroits accessibles, c'est-à-dire aux embrasures. Afin d'obtenir des résultats représentatifs il est non seulement nécessaire de prélever un nombre considérable de carottes, mais un choix répandant aux lois de la statistique s'impose. Comme cette méthode s'avere parfois impraticable ou inadmissible, la recherche s'est dirigée vers un examen comparatif de tronçons de maçonnerie entiers d'une part, et vers l'analyse spectroscopique infrarouge de carottes de diamètre réduit et prélevées de ces mêmes tronçons d'autre part.

3.2. Essais de tronçons (Préparés sous forme de murets)

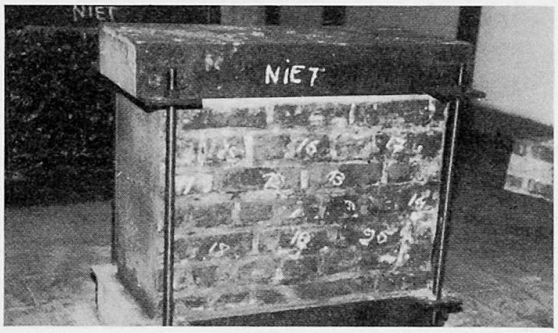


Fig. 4 Muret 2 avant l'injection.

Les résultats présentés sont obtenus sur la maçonnerie d'un bâtiment érigé au 17ème siècle près de Hasselt. Quatre murs ont été préparés pour les essais (Fig. 4).

La résistance à la compression de la maçonnerie non injectée est mesurée sur le muret n° 4. La courbe des déformations en fonction des tensions est donnée à la figure 5.

Cette figure révèle un phénomène important d'hystérésis dans le matériau. Le module d'élasticité est égal à 1570 N/mm^2; la résistance à la compression est égal à 11,5 N/mm^2. Admettant cette résistance on a calculé la résistance à la compression des trois autres murets à l'aide des formules données dans la norme NBN B24-301 [3]. Les valeurs f_{cuc} sont reprises au table 2. Aux trois autres murets le module d'élasticité a été déterminé avant l'injection (E_1) et après (E_2). A titre d'exemple la courbe tension-déformation pour le muret 1 est donnée par la figure 6.

Les résultats sont résumés aux tables 1 et 2.

Muret n°	E_1 N/mm2	E_2 N/mm^2	E_2/E_1	produit d'injection	% de la résine injectée
1	2069	6090	2,94	PC 1380 T	14,3
2	2351	6285	2,67	PC 1380 S	7
3	2425	5351	2,21	PC 1380 S	4,5

Table 1 Module d'élasticité avant et après l'injection.

Ces résultats montrent que :
- une augmentation importante de la rigidité peut être réalisée par l'injection de résine epoxy;
- la résistance à la compression a augmentée de 60 à 80 pourcent vis-à-vis de la résistance initiale, même pour une maçonnerie encore en bon état;
- le comportement tension-déformation est devenu lineairement élastique jusqu'à des contraintes élevées (Fig. 6).

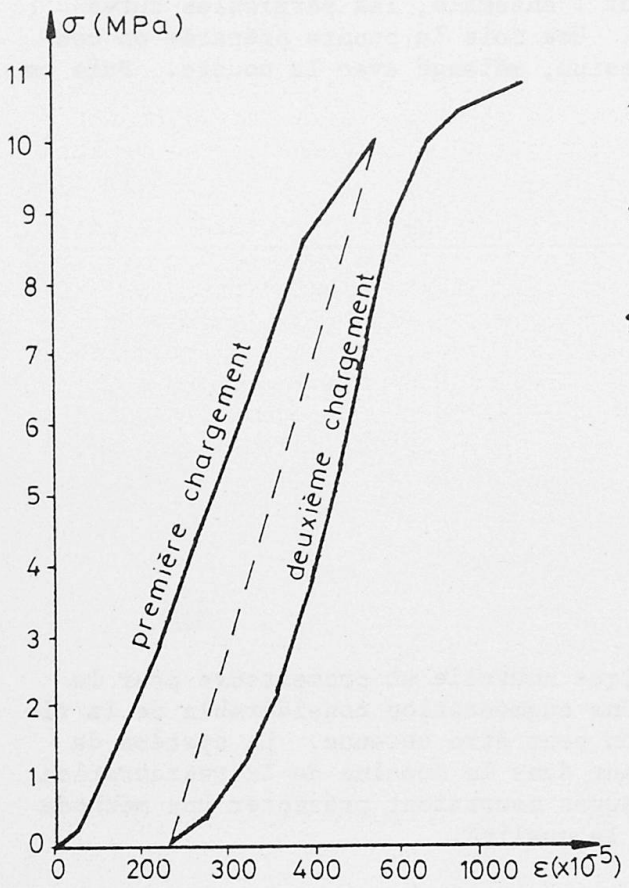


Fig. 5 Courbes tension-déformation pour muret 4

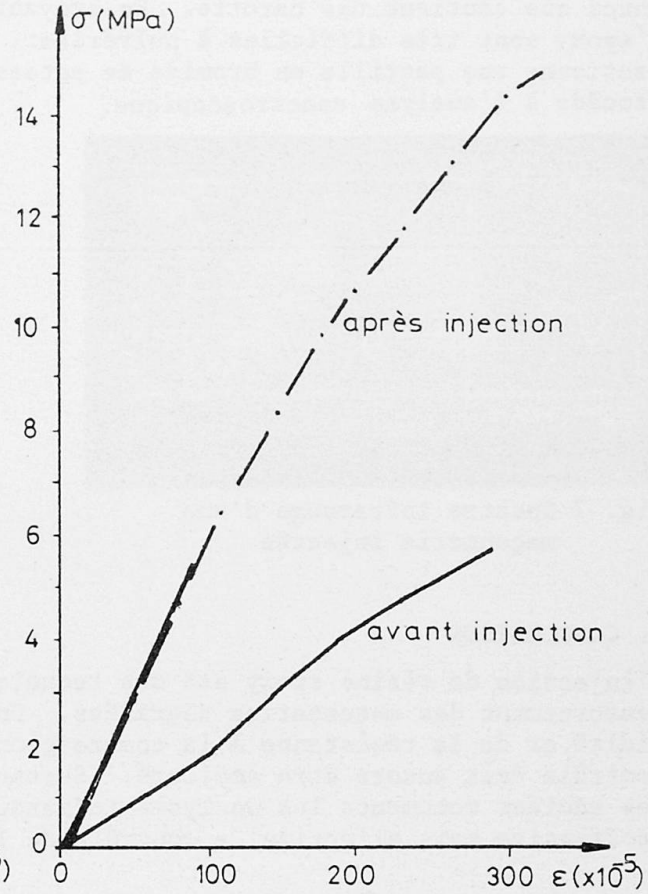


Fig. 6 Courbes tension-déformation pour muret 1

Muret n°	f_{cu} (mesurée) N/mm²	f_{cuc} (NBN B24-301) N/mm²	f_{cu}/f_{cuc}
1	15,35	8,87	1,73
2	16,54	8,86	1,87
3	16,32	10,01	1,63

Table 2 Résistance à la compression avant et après l'injection

3.3. Analyse par spectroscopie infrarouge

Des mesures de contrôle sur des tronçons de murs comme décrites ci-dessus seront rarement possible. Pour cette raison nous étudions les possibilités de l'analyse par spectroscopie infrarouge afin de déterminer les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie injectée. Si nous réussissons à établir une relation entre les données du spectre infrarouge et la résistance, nous obtenons en même temps toutes les informations sur la résine injectée.

D'abord nous essayons de déterminer le pourcentage volumique de résine injectée dans la maçonnerie. Dans ce but une analyse quantitative du spectre est nécessaire : les raies caractéristiques d'absorption de la résine epoxy sont repérées, ainsi que la relation entre la surface intégrée par ces raies et le pourcentage d'epoxy, celui-ci étant le facteur qui détermine la résistance acquise. La figure 7 montre le spectre infrarouge d'une maçonnerie injectée.

L'élaboration de cette méthode nécessitera la résolution de multiples problèmes. D'abord l'acquisition d'un échantillon représentatif pour toute la maçonnerie : ceci est réalisable par le forage d'un nombre de carottes assez élevé et de diamètre réduit (16 mm). Un autre problème est le broyage en poudre de l'epoxy

durci que contient une carotte. En broyant l'ensemble, les particules dures d'epoxy sont très difficiles à pulvériser. Une fois la poudre préparée on confectionne une pastille en bromide de potassium, mélangé avec la poudre. Puis on procède à l'analyse spectroscopique.

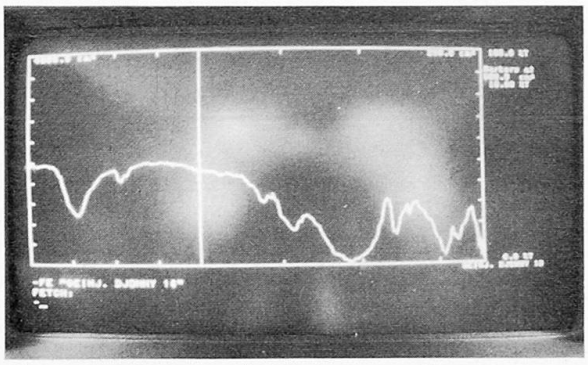


Fig. 7 Spectre infrarouge d'une maçonnerie injectée

4. CONCLUSIONS

L'injection de résine epoxy est une technique nouvelle et prometteuse pour le renforcement des maçonneries dégradées. Une augmentation considérable de la rigidité et de la résistance à la compression peut être obtenue. Le système de contrôle doit encore être amélioré. Surtout dans le domaine de la restauration des anciens monuments les analyses infrarouges pourraient présenter une méthode inoffensive mais effective de contrôle de la qualité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs vifs remerciements à l'égard de la société E.C.C. et son directeur Mr. D. De Neef, pour le support logistique et matériel aux recherches, ainsi que l'Institut Belge pour la promotion de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.) qui a subventionné les recherches. Nous remercions également MM. M. Opdebeeck et W. Smolders, qui ont effectué un grand nombre d'essais dans le cadre de leur travail de fin d'étude.

REFERENCES

[1] Van BIERVLIET L., VAN GEMERT D. : Contrôle des produits, méthodes et résultats en techniques modernes de restauration (Proceedings 'Studiedag Epoxytechnieken voor Strukturele Herstellingen', Leuven 1982) (en Néerlandais)

[2] VANDEN BOSCH M., VAN GEMERT D. : Rénovation de maçonnerie par injection de résines artificielles. Proceedings 'Studiedag Epoxy-technieken voor Strukturele Herstellingen', Leuven 1982 (en Néerlandais)

[3] NBN B24-301 : Conception et calcul des maçonneries.