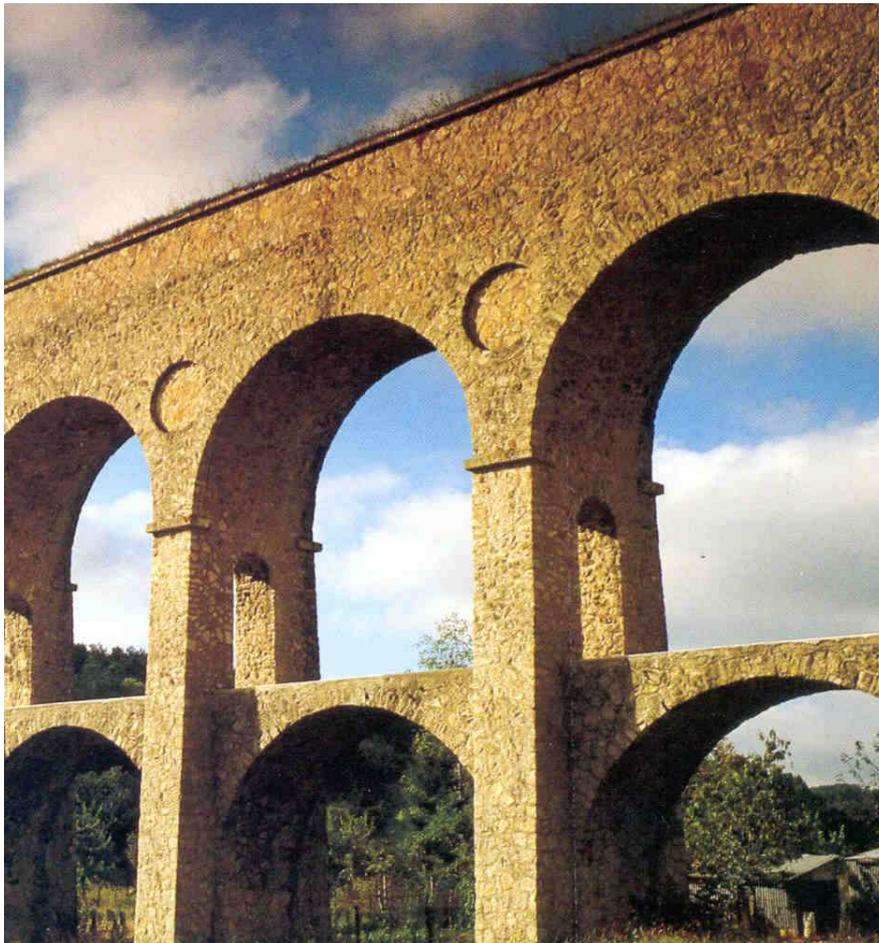


REGENERATION DE MACONNERIES ANCIENNES PAR INJECTION DE LIANTS ULTRAFINS



14/06/2007

Contexte :

Les maçonneries anciennes sont soumises à diverses agressions :

- Infiltrations, dissolutions, ... ;
- Agressions atmosphériques ;
- Cycles gel-dégel ;
- Actions biologiques : micro-organismes, végétation, ...
- Tassements, vibrations, charges, ...

Cela entraîne :

- Une altération superficielle des pierres et des mortiers de joint ;
- Une destruction progressive des mortiers de montage ;
- Des fissurations qui accélèrent encore les processus.

A terme cela peut aller jusqu'à la remise en question de la pérennité de l'ouvrage

Qu'apportent les injections ?

L'injection permet :

- De colmater et d'étancher les fissures
- De régénérer les mortiers et donc :
 - ◊ D'étancher les ouvrages et d'éviter le délavage des matériaux ;
 - ◊ D'améliorer les résistances mécaniques.
- De stabiliser les ouvrages dans le cas de l'injection du massif encaissant (sol ou rocher fissuré)

L'injection est une technique non destructive qui permet de traiter l'ouvrage à cœur et de lui redonner des caractéristiques proches de celles d'origine.

La démarche Holcim

Afin de mettre au point des produits techniquement adaptés aux exigences des maîtres d'ouvrage, Holcim a travaillé avec différents laboratoires pour le développement de sa gamme de liants ultrafins.

Des études avec le CEBTP et le LEM ont permis de mettre au point des formules à base de Spinor A12.

Ces études ont permis de définir les critères de performances à remplir :

- Classes de résistances mécaniques ;
- Compatibilité chimique avec les matériaux en place ;
- Injectabilité de milieux faiblement poreux ;
- Pérennité des traitements.

L'expérience chantier, entre autre sur des chantiers de la SNCF, a permis de mettre en œuvre d'autres formulations à base de Spinor A32 (Bentocem).

La gamme Spinor

1. Compatibilité :

Les coulis de Spinor sont compatibles avec tous les mortiers à base de chaux ou de ciment. **Seul le plâtre est à proscrire.** De couleur claire, ils ne tachent pas la pierre.

2. Pérennité :

Les liants utilisés, Spinor A12 ou Spinor A32, à base de laitier, sont reconnus de part leur composition minéralogique, pour leur excellente résistance aux eaux agressives (degré d'agressivité A3 selon la NF P 18-011).

3. Injectabilité :

Broyé finement, la taille maximale de grain est de 12 µm pour le Spinor A12 et de 32 µm pour le Spinor A32, les coulis de Spinor peuvent injecter des milieux faiblement poreux et microfissurés, là où des ciments et des chaux ordinaires ne pénètrent plus.

Notre savoir faire, nous permet de proposer différentes formulations, prêtes à l'emploi, ou à préparer sur chantier lors du gâchage, pour répondre aux spécificités de l'ouvrage : massif sous eau, présence de courant, colmatage d'espace annulaire ...

Choix des produits :

Le choix d'un produit doit être le résultat d'une étude préliminaire qui aura défini :

- Les contraintes auxquelles l'ouvrage est soumis ;
- La nature des matériaux in-situ ;
- Les pathologies et leur répartition.

D'une manière générale :

En partie enterrée, le sol étant potentiellement agressif et la base de l'ouvrage soumise aux charges les plus importantes, on privilégiera les formules composées uniquement de Spinor.

En fonction de la perméabilité du massif à injecter ou de l'ouverture des fissures, le choix se portera sur :

- Milieu faiblement perméable ($k \# 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$) \Rightarrow Spinor A32 ou Bentocem
- Milieu très faiblement perméable ($k \# 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$) \Rightarrow Spinor A12

En partie aérienne, deux paramètres vont intervenir :

- la dimension des vides à injecter :
 - Milieu faiblement perméable ($k \# 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$) \Rightarrow Spinor A32 ou Bentocem
 - Milieu très faiblement perméable ($k \# 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$) \Rightarrow Spinor A12
- les contraintes mécaniques :
 - Maçonneries de roches massives (granit, calcaire massif) \Rightarrow Spinor A12, Spinor A32 ou Bentocem
 - Maçonneries de matériaux tendres \Rightarrow Spinor A12 + chaux hydrauliques naturelles + charges calcaire
 - Maçonneries de matériaux intermédiaires \Rightarrow Spinor A12 + chaux hydrauliques naturelles

CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

**Les recommandations ci-après ne sont données qu'à simple titre de conseils.
Elle n'engage en rien la responsabilité de Holcim.**

14/06/2007

INJECTION DE REGENERATION D'OUVRAGES MACONNES AU COULIS DE SPINOR

PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

DEFINITION DES TRAVAUX

Le but des injections est de régénérer le corps de la maçonnerie par traitement des mortiers de hourdages défectueux afin de retrouver des caractéristiques mécaniques et d'étanchéité compatibles avec les contraintes de service de l'ouvrage.

Afin d'atteindre ces objectifs plusieurs passes d'injection peuvent être nécessaires.

TRAVAUX PREPARATOIRES

Avant l'injection, l'entrepreneur devra :

- Procéder à l'étanchement des barbacanes existantes. **A l'issue des travaux le système de drainage devra être rétabli.**
- Assurer l'étanchéité du parement pour éviter les divagations de coulis, par colmatage des joints de fissures à l'aide d'un mortier à prise rapide, ou si besoin par un ragréage provisoire du parement.

MATERIEL POUR INJECTIONS

Le matériel permettra la préparation du coulis par mélange dans un malaxeur hautes turbulences. La pompe sera à piston, à pression et débit réglable afin que l'injection se réalise à pression et débit aussi constant que possible.

L'entrepreneur s'assurera que son matériel (quantité et qualité) est conforme aux exigences des travaux.

Chaque pompe est équipée de limiteurs de pression. Des manomètres seront placés au bout des lances pour vérifier le niveau de perte de charge. Les limiteurs de pression sont testés à chaque reprise de travail.

Chaque lance d'injection sera équipée d'un débitmètre, et d'un système de mesure permettant le suivi en continu et en cumul des quantités injectées.

MESURE DES PARAMETRES D'INJECTION*

** Cette exigence est laissée à l'appréciation du Maître d'Ouvrage en fonction de l'importance des travaux.*

Pour chaque lance d'injection le matériel devra permettre :

- D'enregistrer en continu la pression et le débit d'injection ;
- D'enregistrer les quantités cumulées de coulis injecté ;
- De tracer les diagrammes pression, débit, volume cumulé en fonction du temps ;
- De déclencher une alerte en cas de dépassement des paramètres de sécurité fixés : pression, quantités injectées, débit, ...

Chaque trou d'injection doit être identifié.

Les paramètres feront l'objet d'un enregistrement conservatoire.

Les différents paramètres feront l'objet d'une édition journalière selon les exigences du Maître d'Ouvrage.

PROGRAMME D'INJECTION

Une étude préalable commanditée par le Maître d'Ouvrage doit permettre de déterminer :

- La géométrie et la structure de l'ouvrage ;
- La nature des vides à injecter ;
- Les qualités de coulis à injecter selon les natures des vides ;
- Les quantités à injecter selon les cas identifiés, ainsi que les paramètres d'injection.

Ce programme d'injection pourra être ajusté au fur et à mesure de l'avancement du chantier en fonction du déroulement des injections.

REALISATION DES FORAGES POUR INJECTION DES COULIS

Les forages sont réalisés en respectant l'appareil des blocs. D'une manière générale, la distance entre deux forages sur le plan horizontal et le vertical est égal à la demi épaisseur du mur. Ce maillage pourra être modifié selon les premiers résultats d'injection. Les forages seront réalisés en quinconce.

La profondeur des forages intéresse généralement 2/3 de l'épaisseur du mur.

Les forages sont réalisés par roto-percussion et ont un diamètre de 15 à 20 mm. Chaque trou sera nettoyé avant injection (eau sous faible pression), et l'eau résiduel soufflée. Un examen statistique des forages par endoscopie peut être demandé.

La ligne supérieure du trou en cours d'injection ainsi que la ligne du trou injecté devront être forés avec une avance d'au moins 5 trous pour jouer leur rôle de décharge.

MISE EN ŒUVRE DE L'INJECTION

Les coulis de spinor sont préparés selon les dispositions des fiches techniques. L'injection commence par les lignes horizontales basses et se fait en remontant. Dans le cas d'ouvrages en voûte, l'injection se fait de manière symétrique, des piédroits vers la voûte.

L'injection est interrompue dans l'un ou l'autre des cas suivants :

- Lorsque la pression d'injection dépasse pendant plus de 15 secondes de 1 bar la pression normale d'injection (généralement comprise entre 0.5 et 2 bars).
- Lorsque la quantité théorique de coulis par trou est atteinte. Le trou pouvant faire l'objet ultérieurement d'une injection secondaire.
- En cas de résurgence de coulis par un autre trou.

L'injection d'une ligne supérieure se fait après prise du coulis de la ligne inférieure.

En cas d'écart significatif par rapport au programme d'injection initialement prévu, l'entrepreneur en informe le Maître d'Ouvrage pour décisions sur d'éventuelles modifications de celui-ci.

Après chaque séance, un nettoyage de la zone par chasse d'eau vers des drains ou des caniveaux est effectué.

RESULTATS DES INJECTIONS

Tous les paramètres d'injection recueillis par l'entrepreneur sous la responsabilité du Maître d'Ouvrage sont recueillis journalièrement pour établissement d'un document représentant la maille d'injection et les quantités injectées.

EFFICACITE DES INJECTIONS

A échéances déterminées par le Maître d'Ouvrage, des carottages (\varnothing 70 à 80 mm) des zones traitées sont réalisés afin de contrôler :

- L'aspect visuel des carottes et la présence du coulis d'injection ;
- Eventuellement la perméabilité résiduelle de la zone traitée.

Les carottes seront répertoriées et photographiées. Elles sont ensuite emballées de façon étanche et transmises au Maître d'Ouvrage ou à un laboratoire qu'il aura désigné.

Les carottages sont rebouchés sur toute la longueur au mortier de ciment après accord du Maître d'Ouvrage.

Selon les résultats obtenus le Maître d'Ouvrage peut demander de nouvelles passes d'injection.



Annexes

1./ Fiches produit :

- Bentocem
- Spinor A32
- Spinor A12

2./ Contrôle de l'injectabilité des coulis de Spinor, en laboratoire, par injection dans des colonnes de sable.

3./ Quelques références de chantier d'injection avec les produits de la gamme Spinor

Contrôle de l'injectabilité des coulis de Spinor en laboratoire

L'injectabilité des coulis de Spinor est contrôlée en laboratoire par la réalisation d'essais d'injection dans des colonnes de sable.

Le suivi des paramètres d'injection :

- pression d'injection,
- masse injectée,
- résistances à la compression de différents tronçons

permet de caractériser le comportement d'un coulis de liants hydrauliques dans un sol ou un massif de perméabilité donnée.

Description de l'essai :

Les sables utilisés pour la préparation des colonnes sont siliceux.

La granulométrie du sable utilisé pour remplir la colonne varie en fonction de la perméabilité souhaitée pour ce sol reconstitué.

- Pour une perméabilité, k , de 10^{-4} m.s^{-1} , le sable aura une étendue granulaire allant de 0,1 à 0,3 mm. Ces colonnes seront utilisées pour contrôler l'injectabilité des coulis à base de Spinor A12.
- Pour une perméabilité, k , de 10^{-3} m.s^{-1} , le sable aura une étendue granulaire allant de 0,2 à 1 mm. Ces colonnes seront utilisées pour contrôler l'injectabilité des coulis à base de Spinor A32.

Le sable est mis en place dans une colonne en plexiglass de diamètre intérieure égale à 42 mm et de 100 cm de haut. La hauteur injectée est de 80 cm. La photo 1 montre la préparation de la colonne de sable.

Les injections sont réalisées à débit constant. La pression d'injection est enregistrée en continu.

La première étape consiste à injecter de l'eau dans le sable selon un débit constant et compris dans la fourchette préalablement établie pour ce sable. La perméabilité, k , du sable calculée à partir des enregistrements doit être conforme à la valeur visée pour le coulis à tester.

La photo 2 montre la propagation du front d'eau dans la colonne de sable lors de l'injection. Le front de propagation du coulis sera similaire.

La photo 3 montre le dispositif d'essai.



Photo 1



Photo 2

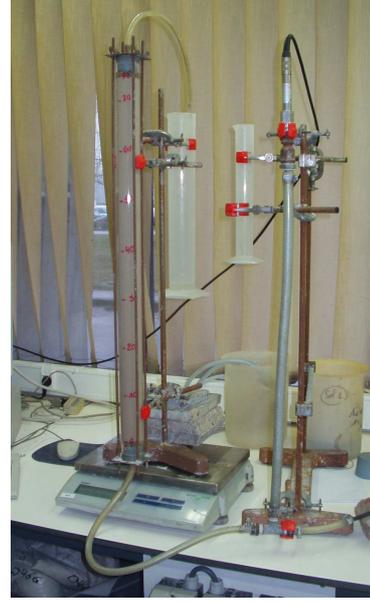


Photo 3

Exemple de résultats d'un suivi d'injection d'un coulis de Spinor A32

Nature Du Coulis	Nature du sable	Injection d'eau			Injection du coulis									
		Masse m de sable (g)	Débit d'eau Q (mls-1)	Pression d'eau P (bar)	% d'humidité	Hauteur de coulis (cm)	Hauteur de coulis (ml)	Temps t' (s)	Pression P' (bar)	Masse de coulis (g) injectée	Densité d1 du coulis avant injection (g/ml)	Densité d2 du coulis après injection (g/ml)	Hauteur de tronçon	Rc xj (MPa)
Spinor A32 2% N40 E/C=0.8	Sifrac.	1580	0.37	0.1	24.7	0		0	0.13	0		1.47	5	8.56
	S5					10		150	0.15	62	13		8.57	
	0.2 - 1 mm D=1.52g.cm-3					20		340	0.19	141	21		8.52	
						30		530	0.24	222	29		8.95	
						40		720	0.33	305	37		9.54	
						50		970	0.7	395	45		7.82	
						60		1090	0.29	457	53		8.28	
						70		1320	0.57	546	61		6.90	
						75		1520	0.83	524	Moyenne : 8.39			
							20		1720	1.11				X = 7 jours
							50		1940	1.64				
	100		2060	1.79										

REFERENCES DE CHANTIERS D'INJECTION AVEC DES COULIS DE SPINOR

Injection de Maçonneries

DESIGNATION	LIEUX	ANNEE
PONT ROYAL	PARIS	1988
PONT NEUF	PARIS	1988
VIADUC DES 100 ARCHES - SNCF	LIBOURNE	1994
CHATEAU DES COMTES	GAND - BELGIQUE	1994 à 2006
RER C - QUAI MALAQUAI	PARIS	1996
MONT SAINT MICHEL	MONT SAINT MICHEL	1998
BARRAGE DE TORAN	ESPAGNE	2002
CANAL IMPERIAL DE ARAGON	ESPAGNE	2002
RER C – MONTEBELLO	PARIS	2004
RER C - QUAI MALAQUAI	PARIS	2004
RER C – QUAI DE LA TOURNELLE	PARIS	2005
PONT RAIL VOUTE - SNCF	LYON	2005
A86 SOCATOP	PARIS	2005 - 2006
METRO DE LONDRES	LONDON	2007 (En cours)
PONT RAIL - SNCF	LE CATEAU	2005

Injection de Sols

DESIGNATION	LIEUX	ANNEE
TUNNEL DE STOREBELT	DANEMARK	1995
METEOR CHATELET - RATP	PARIS	1995
JUBILEE LINE EXTENSION	LONDON	1995
AQUEDUC DE LAVRE	COIGNERES	1996
TUNNEL ZURICH / BADEN	SUISSE	2000
A86 - SOCATOP	PARIS	2004
TUNNEL DU GOTHARD	SUISSE	2001 - 2007
METRO DE BARCELONE	ESPAGNE	2006
TUNNEL DE TOULON	France (En cours)	2007
SITE INDUSTRIEL	MULHOUSE	2006