

# Essai dérivé de l'essai d'adhérence pour la caractérisation de la cohésion superficielle des supports en béton dans les travaux de réparation : analyse des paramètres d'essai

(Adaptation of the pull-off test for the evaluation of the superficial cohesion of concrete substrates in repair works: analysis of the test parameters)

L. Courard<sup>1</sup> et B. Bissonnette<sup>2</sup>

(1) Université de Liège, Département Géoresources, Géotechnologie et Matériaux de Construction, Unité de Recherche en Matériaux de Construction, Bât. B 52/3, Chemin des Chevreuils, 1 - B-4000 Liège 1, Belgique,

(2) Université Laval, Département de Génie Civil, Cité universitaire, Pavillon Pouillot, Québec, G1K 7P4, Canada

---

## RÉSUMÉ

La réparation des surfaces en béton nécessite la plupart du temps une préparation de surface consistant en l'élimination de la couche superficielle de mauvaise qualité. Il est nécessaire de caractériser et de quantifier l'effet de cette opération sur les propriétés mécaniques et physiques du béton support, de façon à mettre en évidence les paramètres permettant de maximiser l'accrochage du système de réparation qui sera appliqué par la suite. L'essai d'adhérence-traction (« pull-off test ») est couramment utilisé pour caractériser l'adhérence des produits de réparation sur bétons : l'acceptation d'un travail est régulièrement basée sur des valeurs minimales ou caractéristiques de l'adhérence obtenues sur site ou en laboratoire. Cet article présente l'utilisation d'un essai dérivé de l'essai d'adhérence par traction sur site comme élément de qualification de la cohésion superficielle des supports en béton avant réparation. Une analyse des principaux facteurs d'influence est réalisée sur la base d'une recherche bibliographique approfondie, ainsi que la consultation des principales normes internationales. Les principaux facteurs observés sont : l'épaisseur et le diamètre des disques métalliques d'accrochage, la profondeur de carottage, la vitesse de mise en charge, le type de vérin, le type de colle et le nombre d'essais. Un béton de référence ordinaire a été sélectionné et a servi à la réalisation des essais dans différentes conditions définies à partir des paramètres précédents. Une analyse statistique multivariée a permis de mettre en évidence l'effet significatif de la profondeur de carottage et du diamètre du disque sur les résultats d'essais, de même qu'un effet combinatoire de ces deux paramètres. Les résultats ont été analysés à partir de valeurs caractéristiques et un nombre d'essais minimum a été défini, en fonction de la dispersion des résultats et de la précision requise. Finalement, cet essai présente un potentiel intéressant comme méthode de caractérisation des surfaces en béton avant réparation, moyennant la fixation d'un certain nombre de paramètres, dont plusieurs se trouvent déjà définis dans des normes d'essai concernant les produits de réparation.

---

## ABSTRACT

Concrete repair works involve most of the time the removal of the damaged or contaminated surface layer. It is necessary to assess the effect of that operation (tool, procedure, etc.) upon the integrity of the residual concrete substrate, prior to the placement of the repair material, since it can affect significantly the adhesion of the repair system. This paper summarizes the findings of a study intended to develop a simple test method for that purpose. After a thorough review of the related scientific documentation, it has been decided to adapt the so-called pull-off test, which is commonly used to determine the bond strength of repair products. An experimental program has been conducted to evaluate the influence of various test parameters on the measured cohesion of a reference concrete surface: transfer plate thickness and diameter, core drilling depth, speed of loading, adhesive type and thickness, and number of tests. A multivariate statistical analysis of the test results clearly shows that the plate diameter and core depth are the most significant parameters, presumably with threshold values, and that there exists a synergetic effect between them. Also, a minimum number of tests can be defined based on the standard deviation and required level of confidence of the results. Overall, the test method shows good potential for a sound quantitative evaluation of a concrete surface mechanical integrity prior to repair, provided that the test parameters are selected properly.

---

### Note éditoriale

Le Dr. Luc Courard est Membre de la RILEM. L'Université Laval (Canada) est Membre Titulaire de la RILEM.

Les Drs. Bissonnette et Courard participent à la Commission Technique de la RILEM RLS 'Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs or pavements'.

## 1. INTRODUCTION

Les travaux de réparation des ouvrages en béton nécessitent une préparation de surface adéquate [1, 2], de telle sorte que les conditions favorables à l'adhérence [3, 4], entre autre par effet d'interpénétration mécanique, soient réunies. Il faut veiller notamment à ce que la technique de préparation [5] – burinage, marteau-piqueur, scarification, hydrosablage, etc. – n'endommage pas la couche superficielle du béton support et ne provoque pas de décohésions [3]. Avant l'application d'un système de réparation, il convient donc d'être capable d'évaluer la qualité du travail. Il est nécessaire de « quantifier » l'effet de la préparation et de définir des critères d'acceptation. Il faut donc bien faire la distinction entre l'essai de traction sur béton, qui vise à donner une valeur globale de la résistance en traction du béton, l'essai d'adhérence, qui vise à déterminer si un produit de réparation adhère bien au béton sur lequel il est appliqué et enfin l'essai de cohésion superficielle, qui a pour but de vérifier l'état du béton en surface, avant que le produit de réparation soit appliqué.

La réflexion a été menée ici sur l'adaptation de l'essai d'adhérence par traction pour mesurer la cohésion superficielle du béton (Fig. 1). S'il existe diverses méthodes [6] développées pour évaluer l'adhérence d'une réparation sur un support en béton, la documentation scientifique relative à l'évaluation de la surface en béton elle-même est pauvre.

[12] de pouvoir être réalisée en laboratoire ou sur site. De plus, elle est aisée à mettre en œuvre, permet une interprétation immédiate et ne nécessite pas un appareillage complexe [13-15].

Le dispositif de mise en traction doit permettre d'appliquer, par l'intermédiaire d'une rotule, un effort de traction en prenant appui sur le support. Un anneau de répartition indéformable peut être interposé entre les appuis et le support. Le dispositif de traction doit permettre également une mise en charge progressive et sans accroissement brusque par un moyen mécanique ou hydraulique. Cette méthode destructive exige toutefois le respect d'un certain nombre de précautions particulières relatives à l'essai, mais aussi à l'environnement dans lequel celui-ci est réalisé [16-18].

Le but est ici de présenter l'utilisation d'un essai dérivé de l'essai d'adhérence par traction sur site comme élément de qualification de la cohésion superficielle des supports en béton avant réparation.

## 2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET NORMATIVE

De nombreuses recherches et expérimentations ont été menées dans divers pays, relativement à l'essai d'adhérence-traction pour la quantification de l'adhérence d'un système de réparation sur un béton support. Ces développements ont donné lieu, dans un certain nombre de cas, à la rédaction de normes et de prescriptions. Il semble important d'examiner ces informations afin de dégager les conditions qui devraient être celles de l'essai de mesure de la cohésion superficielle du béton. Plusieurs paramètres ont été analysés à partir des références disponibles sur le sujet [21].

Ces développements ont donné lieu, dans un certain nombre de cas, à la rédaction de normes et de prescriptions. Il semble important d'examiner ces informations afin de dégager les conditions qui devraient être celles de l'essai de mesure de la cohésion superficielle du béton. Plusieurs paramètres ont été analysés à partir des références disponibles sur le sujet [21].

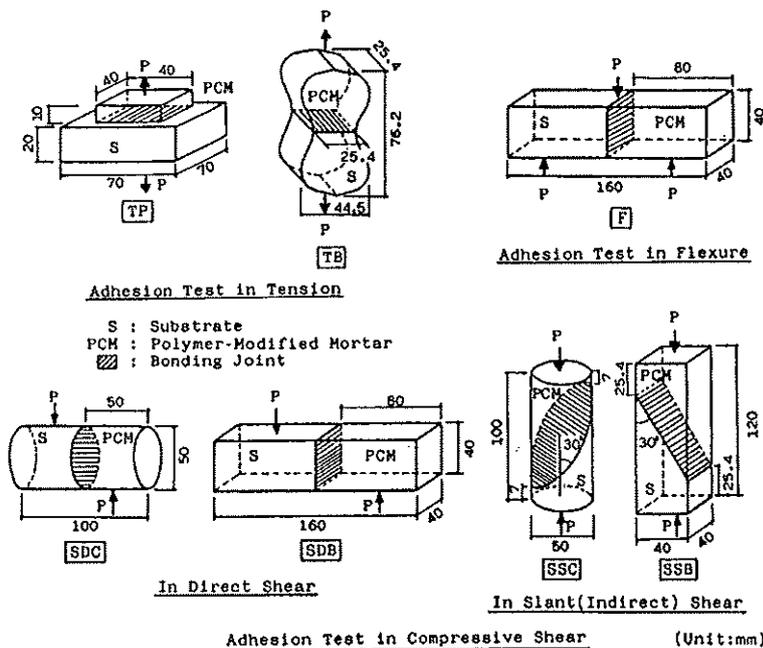


Fig. 1 - Méthodes de mesure de l'adhérence en traction, flexion et cisaillement-compression [6].

Les essais d'adhérence sont basés sur des sollicitations en traction, flexion et/ou cisaillement [7]. La plupart nécessite une préparation en laboratoire, à l'exception du pull-off test et de l'essai de traction par cisaillement sur carotte [8-11].

Par rapport à des méthodes basées sur le cisaillement (split-shear test ou shear test), la méthode de mise en traction directe (pull-off test) présente le double avantage

### 2.1 Matériau et épaisseur du disque métallique

Le disque métallique est collé sur l'élément à tester et est muni d'un filetage qui permet de le connecter, au moyen d'une tige filetée, aux mors de la machine de traction. Le projet de norme européenne prEN 1542 [24] précise que les disques employés pour fixer les éprouvettes doivent avoir une épaisseur d'au moins 20 mm ou 30 mm selon qu'ils sont fabriqués en acier ou en aluminium. Ces valeurs se retrouvent dans la documentation scientifique [15, 19] et sont justifiées par le souci d'obtenir une répartition uniforme des contraintes. Ce facteur est probablement moins critique lorsqu'il s'agit d'évaluer l'adhérence d'une réparation sur le béton – par rapport à la mesure de la cohésion – puisque les contraintes, en se répartissant sur l'épaisseur de la réparation, devraient permettre une distribution plus uniforme à l'interface. Certaines normes belges (NBN B15-201 et 211, NBN B14-210 [25-27]) précisent simplement qu'ils doivent être indéformables ou en acier dur.

## 2.2 Diamètre du disque

Le diamètre minimal du disque métallique d'accrochage dépend directement de la dimension des granulats du béton à caractériser. La norme canadienne CSA A23.2-6B [28] impose un diamètre d'au moins 3.5 fois le diamètre du plus gros granulat  $D_{max}$  et d'au moins 75 mm. La norme belge NBN B14-210 impose un minimum de 16 cm<sup>2</sup> et conseille 50 cm<sup>2</sup>, ce qui correspond respectivement à des diamètres de 45 mm et 80 mm. La norme européenne prEN 1542 impose quant à elle 50 mm. Aucune publication traitant de l'influence du diamètre du disque n'a été répertoriée.

## 2.3 Distance entre carottages

La norme britannique BS 1881-7 [29] stipule que les carottes d'essai devraient être distantes d'au moins deux fois leur diamètre et d'au moins une fois le diamètre par rapport aux bords de l'élément en béton (distances par rapport à l'axe). Le CUR 20 [30] impose une distance équivalente à l'épaisseur du mortier de réparation ou au moins 50 mm.

## 2.4 Profondeur de carottage

La plupart des exigences sont relatives à la mesure de l'adhérence d'une réparation sur son support. La norme canadienne impose une incision dans le support d'au moins 30 mm, alors que la norme européenne impose 15 mm. Certains auteurs s'accordent à dire qu'au-delà de 5 mm, la charge de rupture est indépendante de la profondeur de carottage [15]. On observe toutefois une légère réduction par rapport à la charge mesurée sans carottage ; cette réduction peut aller jusqu'à 25% pour des profondeurs de carottage dans le support de 20 mm et plus.

Une analyse de la configuration d'essai a été réalisée par éléments finis [16, 19] et a permis de mettre en évidence l'effet de la profondeur d'entaille. Vaysburd [20] recommande quant à lui une profondeur minimum de carottage dans le support de 25 mm ou la moitié du diamètre du disque, ce qui correspond à 37,5 mm pour les disques prévus dans la norme canadienne (recommandations formulées pour l'essai d'adhérence).

## 2.5 Vitesse de mise en charge

Une vitesse de mise en charge plus élevée conduit généralement à des contraintes à la rupture plus élevées. Toutefois, dans le cas particulier de la mesure de l'adhérence, aucun document scientifique n'a été trouvé sur le sujet. La norme européenne préconise une vitesse de mise en charge de 0,05-0,01 MPa/s. La norme canadienne impose quant à elle une vitesse de 100 N/s, ce qui correspond, pour une éprouvette de 75 mm de diamètre, à une vitesse équivalente de 0,02 MPa/s.

## 2.6 Précision

Les normes canadienne et européenne imposent respectivement une précision de lecture de 0,05 et 0,1 MPa. La norme belge, plus ancienne, impose que l'effort de traction soit mesuré avec une précision de 0,05 MPa.

## 2.7 Nombre d'essais

Trois essais sont prévus dans la norme canadienne et cinq dans la norme européenne (prEN 1766) et les agréments techniques belges (cf. Tableau 2).

## 2.8 Perpendicularité

Une exigence fondamentale du pull-off test est que l'application de la charge de traction soit purement axiale, sans flexion. CLELAND [15] a calculé que, pour de faibles valeurs d'inclinaison  $\alpha$ , le rapport entre la charge de rupture pour n'importe quelle valeur de  $\alpha$  et la charge de rupture en mode purement axial est donné par  $1/[1-(8*\tan\alpha/D)y]$ , dans laquelle D est le diamètre et y, la profondeur de carottage (Fig. 2).

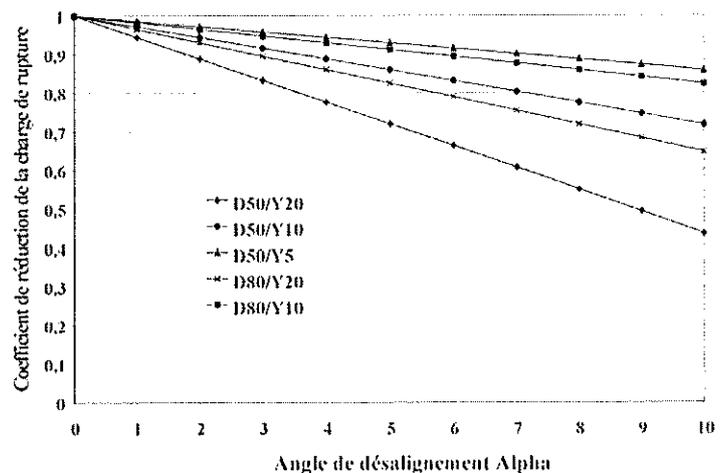


Fig. 2 - Effet de l'inclinaison sur la charge de rupture.

De ce point de vue, on a donc intérêt à réduire la profondeur d'entaille, ou, si on désire l'augmenter, à travailler avec des diamètres plus importants. Ces considérations sont bien entendu théoriques, dans la mesure où on doit pouvoir compter sur une certaine redistribution des contraintes par relaxation et aussi parce que la zone la plus fragile ne correspond pas nécessairement à l'endroit où se retrouvent les contraintes les plus élevées.

## 2.9 Prescriptions

La norme européenne prEN 1766 [31], qui décrit les supports à réaliser pour tester les produits de réparation, prescrit des cohésions de 3 MPa pour les bétons MC 0,4 et 2,5 MPa pour les bétons MC 0,45<sup>1</sup>. Les règlements du système belge d'accréditation (Tableau 1) imposent une cohésion des supports au moins égale à l'adhérence imposée pour le système de réparation, et en tout cas au moins égale à 1 MPa. Si on consulte les impositions relatives aux différents systèmes de réparation (Tableau 1), on trouve en général des valeurs d'adhérence (et par conséquent de cohésion de la surface) relativement élevées.

Les exigences de cohésion du support en béton peuvent donc varier en fonction de la nature du produit appliqué et

<sup>1</sup> MC(0,40) correspond à un béton dosé à 455 kg/m<sup>3</sup> de ciment et ayant un rapport E/C de 0,4, tandis que MC(0,45) correspond à un béton dosé à 395 kg/m<sup>3</sup> de ciment et ayant un rapport E/C de 0,45.

Réf.	Titre	Prescriptions (en MPa)
G0007	Mortiers de ragréage à base de liants hydrauliques	1,5 (a) 2 (b)
G0008	Revêtements de protection de surfaces en béton soumises aux influences extérieures et non soumises au trafic	1,3 (c) 2 (d)
G0012	Mortiers d'égalisation à base de liants hydrauliques	1,8
G0013	Mortiers de ragréage à base de résines	1,5 (a) 2 (b-PUR et Acryliques) 3 (b-EP)
G0017	Revêtements d'étanchéité et de protection des surfaces en béton en contact permanent ou semi-permanent avec l'eau	1,3 (c) 2 (d)

(a) réparations non structurales

(b) réparations structurales

(c) liant hydraulique et liant hydraulique modifié

(d) liant polymérique

de l'objet de l'application ou de la réparation. On pourrait retenir dans un premier temps les valeurs de résistance moyenne de 1.5 MPa pour les réparations non structurales et de 2 MPa pour les réparations structurales.

Le Tableau 2 résume les principales informations disponibles sur la réalisation des essais d'adhérence par traction, décrites dans plusieurs normes et prescriptions d'origine belge, britannique, canadienne, européenne et néerlandaise. Une rubrique indique l'objet de la norme (mesure de la cohésion superficielle du support, mesure de la résistance en traction du béton et mesure de l'adhérence de la réparation).

### 3. PROGRAMME EXPERIMENTAL

Essentiellement, le programme expérimental consiste en la conduite d'essais de cohésion superficielle sur des supports en béton fabriqués aux fins de cette étude et dont la surface non coffrée a été préparée mécaniquement.

Le programme expérimental est mené de façon à mettre en évidence l'effet éventuel des paramètres d'essai suivants sur la mesure de cohésion superficielle. Les paramètres considérés sont :

- type de colle : colles époxy [22] à prise rapide et normale<sup>2</sup>;
- épaisseur de colle : 1 et 2 mm<sup>3</sup>;
- diamètre du disque : 50 et 100 mm ;
- profondeur d'entaille : 0, 15 et 30 mm ;
- vitesse moyenne de mise en charge : 0,14 et 0,47 MPa/s<sup>4</sup>;

L'appareil utilisé est constitué d'un trépied sur lequel repose la cellule de mise en charge et d'une pompe à main. La charge est transmise au disque métallique par l'intermédiaire d'une rotule et d'une tige filetée (Fig. 3).

Les supports, des plaques de 50x50x10 cm, ont été fabriquées avec un béton ordinaire dont la composition exacte est indiquée au Tableau 3. Il s'agit d'un béton ordinaire avec granulats de faible dimension et un rapport E/C de 0,4.

Dix supports (50\*50\*10 cm) et les cylindres correspondants (ø100 x h200 mm) pour mesures de la résistance en compression et essais brésilien ont été préparés en une seule gâchée. Les supports ont été mûris sous une toile de jute imbibée d'eau, recouverte d'une feuille plastique pendant 24 heures. Ils ont ensuite été démoulés et conservés dans le laboratoire (environ 20°C et 50% H.R.).

<sup>2</sup> durée minimale d'attente avant essai de, respectivement, 1 heure et 24 heures

<sup>3</sup> contrôle en masse

<sup>4</sup> contrôle manuel

Norme	Objet	Matière et épaisseur du disque	Diamètre ou section des disques	Profondeur carottage <sup>1</sup>	Vitesse (/s)	Nombre d'essais	Prescriptions
CSA A23.2-6B	A*	-	3,5 D max	min 30 mm	100 N/s	3	-
G0008	C <sup>‡</sup>	-	-	-	-	-	≥ adhérence
G0007	C	-	-	-	-	-	≥ adhérence tjrs ≥ 1 MPa
NBN B14-210	A	indéformable	min 16 cm <sup>2</sup> (mieux 50cm <sup>2</sup> )	≥ épaisseur réparation	progressive	5	-
NBN B15-201	A,T*	-	100 cm <sup>2</sup>	complet	-	3/5	-
NBN B15-211	T	acier dur	surface de la carotte	min ≥ √S (mieux ≥ 2√S)	0,1 ± 0,05 MPa	-	-
BS1881-7	A	≥ 0.4 diamètre du disque	-	nécessaire	0,05 ± 0,03 MPa	6	-
prEN 1542	A	acier : 20 mm alu : 30 mm	50 mm	15 ± 5 mm	0,05 ± 0,01 MPa	-	-
prEN 1766	C	-	-	-	-	-	3/2,5 MPa
CUR 20	A	acier : 20 mm alu : 30 mm	50 ± 5 mm	15 ± 5 mm	0,05 ± 0,01 MPa	-	-

<sup>1</sup> si mesure d'adhérence, à compter à partir de l'interface

\* A = adhérence du système de réparation

‡ C = cohésion du support en béton

\* T = traction directe

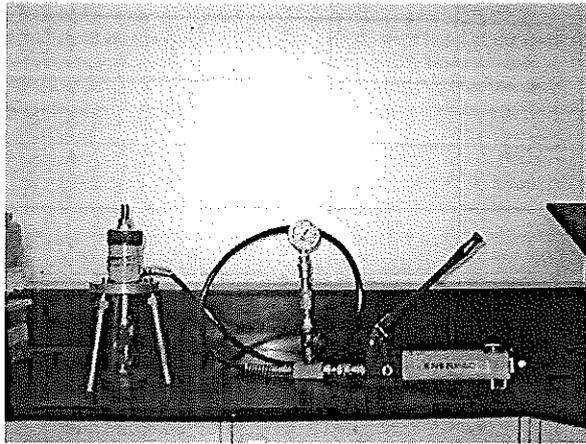


Fig. 3 - Vue du dispositif d'essai.

Matériau	Quantité
Ciment T10	392 kg/m <sup>3</sup>
Eau	159 litres
Sable 0/5	752 kg/m <sup>3</sup>
Granulat 10 mm	938 kg/m <sup>3</sup>
Entraîneur d'air	0,20 ml/kg ciment
Superplastifiant SPN	6,0 ml/kg ciment

Les cylindres ont été conservés jusqu'à échéance en atmosphère humide à 23°C et 100 % H.R. Les essais de résistance en compression et les essais brésiliens ont été réalisés après 41 et 72 jours de conservation<sup>5</sup> (Tableau 4).

On ne constate pas de différence quant à la qualité du béton dans le temps.

La préparation des dalles a été effectuée en nettoyant la surface non coffrée au moyen d'une brosse d'acier fixée sur une foreuse rotative. Afin de quantifier l'effet du broyage, un Indice de Rugosité de Surface (S.R.I.) a été mesuré (Tableau 5). La procédure de mesure s'inspire de la norme européenne prEN 13036-1 [32] et consiste à déterminer le diamètre occupé par un volume de sable étendu et lissé sur le support à analyser : plus le support est rugueux, plus le diamètre est faible.

Une surface est qualifiée de rugueuse [19] si le diamètre moyen de la surface couverte est inférieur à 200 mm, ce qui correspond à un indice S.R.I inférieur ou égal à 0,83. Les surfaces obtenues sont donc relativement peu rugueuses. De plus, la faible dispersion des résultats de S.R.I. témoigne d'une préparation relativement uniforme pour l'ensemble des dalles. Enfin, une évaluation non destructive a été réalisée au moyen d'un scléromètre (Tableau 5). Les résultats montrent à nouveau une faible dispersion, ce qui permet de considérer, du point de vue de la rugosité de surface, l'ensemble des corps d'épreuve comme appartenant à la même population.

La mise en œuvre des essais de cohésion superficielle a d'abord nécessité la réalisation des carottages en différents diamètres et profondeurs, tel que défini dans le programme d'essai. Suivant les diamètres des disques, les dalles ont été

Essai/Echéance	Résultat (MPa)
Compression à 41 jours	43,3
Compression à 72 jours	43,2
Traction (brésilien) à 41 jours	5,02
Traction (brésilien) à 72 jours	5,57

Dalle	Indice de rugosité	R <sub>cs</sub> (MPa)
1	1,46	23,72
2	1,27	22,62
3	1,38	24,00
4	1,38	23,72
5	1,46	24,83
6	1,46	24,28
7	1,52	22,07
8	1,41	25,38
9	1,41	23,17
10	1,25	18,48
<i>Moyenne</i>	1,40	23,23
Écart-type	0,08	1,93

quadrillées en 16 ou 9 zones d'essais. La procédure suivante a été adoptée pour la réalisation du carottage et le collage des disques:

- réalisation du carottage ;
- nettoyage de l'incision et séchage en surface au moyen d'un jet d'air comprimé ;
- collage du disque métallique ;
- installation de l'appareil et mise en charge après polymérisation de la colle.

Les essais (Fig. 4) ont été réalisés en conditions de laboratoire (20°C et 50% H.R.). Quelques remarques peuvent être faites concernant le déroulement des essais. D'abord, les disques ont été collés au maximum dans les quinze minutes qui suivaient la préparation de la colle. Afin de limiter les risques d'inclinaison, les disques ont été positionnés au moyen d'un niveau à bulle et collés horizontalement chaque fois que la topographie de la dalle le permettait.

Le trépied support du piston est de même positionné de sorte que la mise en charge se produise perpendiculairement par rapport au disque, chaque fois que l'encombrement le permettait. En particulier, pour les disques situés sur les bords de la dalle, il a fallu renforcer les points d'appui de 2 des 3 pieds du support au moyen de pièces métalliques plates afin de mieux répartir la charge. Pour certains échantillons en coin de dalle, le désalignement a pu être important, rendant parfois même l'essai irréalisable. Enfin, le réglage de la vitesse est peu précis avec le dispositif utilisé et les vitesses données dans les tableaux sont des valeurs approximatives. De plus, la charge est transmise de façon saccadée, de sorte qu'il n'y a pas réellement de montée en charge continue et constante.

<sup>5</sup> correspond au moment où les essais d'adhérence ont été réalisés.

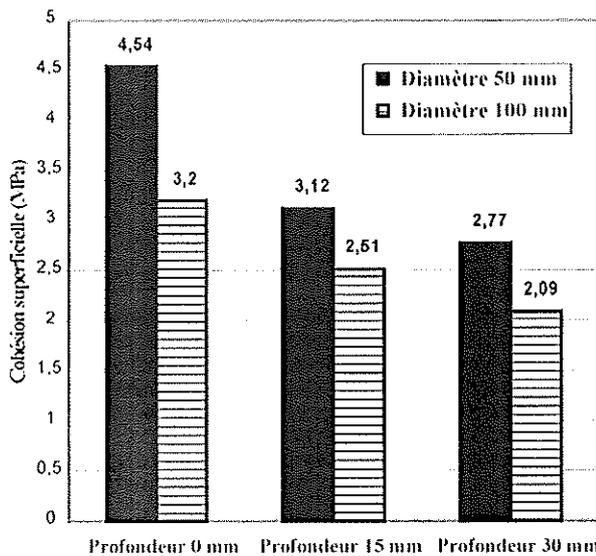


Fig. 4 - Effet du diamètre et de la profondeur de carottage sur la cohésion superficielle moyenne des dalles préparées.

On peut estimer que deux vitesses de travail ont été atteintes, respectivement 0,14 et 0,47 MPa/s, avec des coefficients de variation de 36 et 20%.

#### 4. ANALYSE DES RESULTATS

Plusieurs tests statistiques ont été réalisés afin de vérifier l'effet des divers paramètres testés et de mettre en évidence les éventuelles tendances. Trois types d'investigations ont été menées [23] :

- la comparaison des variances à partir du F de Snedecor ;
- la comparaison des moyennes basées sur le t de Student ;
- l'analyse de variance à deux dimensions.

Seule l'analyse de variance est présentée ici dans la mesure où elle permet de mesurer l'effet et l'interférence de tous les paramètres. La variable dépendante est la cohésion superficielle tandis que les paramètres intervenant dans les essais sont considérés comme variables indépendantes, à savoir :

- vitesse de mise en charge (VITE, (1) = < 0,3 MPa/s et (2) = > 0,3 MPa/s),
- profondeur de carottage (PROF, (1) = 30 mm, (2) = 15 mm, (3) = 0 mm),
- diamètre des disques (DIAM, (1) = 100 mm, (2) = 50 mm),
- numéro de dalle (NUME, 1 à 10),
- type de colle (COLLE, normale et rapide),
- épaisseur de colle (EPAI, (1) = 1 mm, (2) = 2 mm),
- épaisseur et type de colle (COLLEPAI).

Dans la mesure où nous ne disposons pas de toutes les combinaisons possibles entre le type de colle et l'épaisseur, ce paramètre a été globalisé pour la suite de l'analyse

statistique. De toute façon, les analyses « deux à deux », à partir de la comparaison au paramètre t de Student, ont montré qu'il n'y avait pas d'effet significatif de l'un ou l'autre de ces deux paramètres, dans les conditions expérimentales. Le nombre total de résultats de cohésion superficielle est 155. Les essais donnant lieu à des ruptures non conformes ou des résultats douteux ont automatiquement été retirés des échantillons. Les différentes combinaisons étant incomplètes (Tableau 6), il a été nécessaire de faire appel à une procédure dite mixte.

Une première analyse montre qu'il existe un effet de la dalle. Cela signifie que l'on ne peut en fait pas considérer les dix dalles comme une population homogène. Un calcul de variance montre que 16,5 % de la variance totale est due à l'effet des dalles. Cet effet n'est donc pas très important mais existe et il faut en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

Le test statistique sur les autres variables est basé sur le calcul de la probabilité de dépassement P d'une valeur de référence (Tableau 7) : cela signifie que plus la valeur calculée de P est petite (ou plus la valeur de F est grande), plus l'effet de la variable est significatif.

Il apparaît clairement que l'épaisseur et le type de colle n'ont pas d'effet significatif sur l'adhérence. Il en est de même de la vitesse. Par contre l'effet de la profondeur et du diamètre du disque est très significatif. Il est donc intéressant d'essayer de distinguer pour quels diamètres et profondeurs cet effet est le plus significatif. On peut alors calculer des valeurs de t pour chacune des 15 combinaisons correspondant aux 3 profondeurs et 2 diamètres, y compris les effets combinés (Tableau 8).

**Tableau 6 - Tableau complet d'analyse des paramètres, correspondant au nombre de résultats par combinaison**

Paramètres					Nombre d'essais	Cohésion superficielle (MPa)	
VITE	PROF	DIAM	EPAI	COLLE		Moyenne	Écart-type
< 0,3	30	100	1	normale	46	2,15	0,25
< 0,3	30	100	1	rapide	6	2,21	0,29
< 0,3	30	100	2	normale	16	2,16	0,31
< 0,3	15	100	1	normale	12	2,51	0,40
< 0,3	15	50	1	normale	12	3,12	0,50
< 0,3	0	100	1	normale	9	3,19	0,49
< 0,3	0	50	1	normale	11	4,54	0,91
> 0,3	30	100	1	normale	28	2,12	0,33
> 0,3	30	50	1	normale	5	2,77	0,37
> 0,3	15	50	1	normale	5	2,77	0,49
> 0,3	0	100	1	normale	1	2,68	-
> 0,3	0	50	1	normale	4	4,13	0,67
TOTAL :					155	-	-

**Tableau 7 - Effets simples et combinés des paramètres**

Paramètre	Valeur de F calculée	Probabilité P de dépassement de F
VITE	0,02	0,0177
PROF	22,28	<0,0001
VITE*PROF	0,24	0,8508
DIAM	9,51	0,0025
VITE*DIAM	0,65	0,4208
PROF*DIAM	10,91	0,0012
COLLEPAI	<0,01	0,9719

**Tableau 8 - Probabilité de dépassement des valeurs de référence du t de Student pour les combinaisons DIAM/PROF**

Paramètre	PROF	DIAM	PROF	DIAM	Valeur calculée t	Probabilité P de dépassement
PROF	1		2		1,22	0,2264
PROF	1		3		7	<0,0001
PROF	2		3		5,89	<0,0001
DIAM		1		2	5,46	<0,0001
PROF*DIAM	1	1	1	2	1,44	0,1533
PROF*DIAM	1	1	2	1	0,63	0,5314
PROF*DIAM	1	1	2	2	4,09	<0,0001
PROF*DIAM	1	1	3	1	3,19	0,0018
PROF*DIAM	1	1	3	2	11,50	<0,0001
PROF*DIAM	1	2	2	1	1,20	0,2336
PROF*DIAM	1	2	2	2	0,52	0,6065
PROF*DIAM	1	2	3	1	1	0,3201
PROF*DIAM	1	2	3	2	4,18	<0,0001
PROF*DIAM	2	1	2	2	1,65	0,1016
PROF*DIAM	2	1	3	1	2,43	0,0162
PROF*DIAM	2	1	3	2	5,39	<0,0001
PROF*DIAM	2	2	3	1	0,41	0,6861
PROF*DIAM	2	2	3	2	8,37	<0,0001
PROF*DIAM	3	1	3	2	5,05	<0,0001

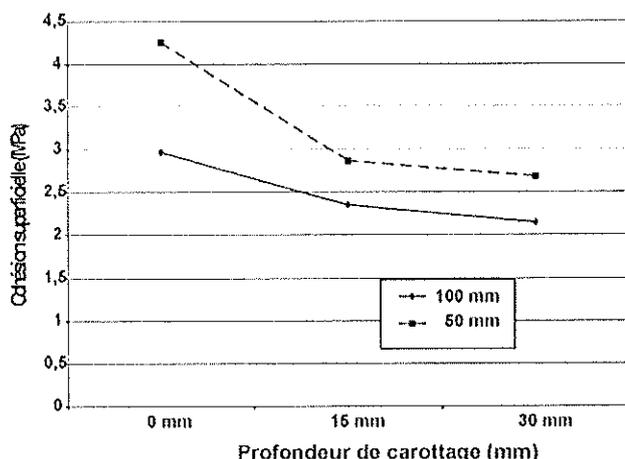


Fig. 5 - Valeurs moyennes estimées de la cohésion de surface pour les 6 combinaisons DIAM/PROF.

L'analyse des résultats permet (Fig. 5) de retirer quelques conclusions intéressantes :

- si on considère l'ensemble des résultats, indépendamment des autres variables indépendantes, il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus avec les profondeurs 1 et 2, mais bien entre les profondeurs 1 et 3, et 2 et 3 ;
- si on considère l'ensemble des résultats, le diamètre du disque est un paramètre significatif ;
- pour un même diamètre, il existe aussi une différence significative entre les résultats de cohésion obtenus respectivement avec une profondeur de carottage nulle et de 30 ou 15 mm. Cela signifie que, si on se fixe une valeur de profondeur de carottage de 30 ou 15 mm, le fait de travailler avec un disque de 100 mm ou de 50 mm ne change pas significativement – au sens statistique du terme - la valeur de la cohésion superficielle ; il en est de même inversement. De plus, si on se fixe une profondeur

de carottage nulle, on constate un effet très significatif du diamètre : les résultats obtenus avec le disque de 50 mm sont plus élevés et diffèrent significativement de ceux obtenus avec le disque de 100 mm.

On peut également déduire de ces essais le nombre minimum d'essais à réaliser, pour une précision et un seuil de confiance définis. A cet effet, des essais sur disques de 100 mm avec une profondeur de carottage de 30 mm ont été réalisés en grand nombre.

La précision statistique est définie à partir du paramètre  $t_{\alpha/2}$  de Student et des résultats expérimentaux. On sait que  $t_{\alpha/2}$  dépend de la taille de l'échantillon n. Connaissant la précision requise pour la mesure (soit  $P = 2\epsilon$ ), on peut déterminer l'effectif (taille de l'échantillon) optimal n permettant d'obtenir ce résultat, sur base de l'écart-type  $\sigma$ . On écrit :

$$n = \left[ t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\epsilon} \right]^2$$

Nous avons donc calculé la valeur du nombre minimum d'essais à réaliser, pour, respectivement, une précision de 2, 5, 10, 12, 15 et 20%. On constate de suite que, si on veut garder un nombre raisonnable d'essais à réaliser, il s'agit de limiter la précision exigée : pour une précision de 2 %, on devrait réaliser un nombre minimum d'essai supérieur à 200. A l'opposé, si on admet une précision à 20% près, on peut se contenter de deux essais. Cinq essais permettent d'obtenir une précision comprise entre 12 et 15%.

Il est clair qu'il serait souhaitable d'élargir le programme d'essais afin de mettre en évidence l'effet éventuel du type d'appareillage et de la taille des granulats. Il faut rappeler en effet que les granulats employés sont de petite dimension (maximum 10 mm). Par ailleurs, l'appareil employé dans ce programme était déjà largement utilisé pour les mesures de l'adhérence et nous avons donc souhaité vérifier la possibilité de l'employer pour la mesure de la cohésion.

On pourrait imaginer de comparer les résultats de cohésion superficielle et les essais brésiliens ou au scléromètre. Une interprétation reste toutefois délicate dans la mesure où les essais brésiliens sont réalisés sur le béton dans sa masse et non pas superficiellement ; d'autre part, les essais de cohésion ont été répartis sur l'ensemble des dalles, ce qui ne permet pas de déterminer une relation potentielle entre cohésions évaluées au scléromètre et au moyen du dispositif étudié ici.

## 5. CONCLUSIONS

La détermination de la cohésion superficielle des bétons au moyen d'un dispositif semblable à celui utilisé pour la quantification de l'adhérence des mortiers de réparation est donc possible, moyennant le respect d'un certain nombre de conditions et principes. Les essais et résultats obtenus permettent de tirer quelques conclusions :

- la profondeur et le diamètre du disque sont les paramètres les plus importants. Pour limiter la dispersion des résultats, il semble préférable de procéder à un pré-carottage du béton. Les profondeurs de 15 ou 30 mm semblent équivalentes de ce point de vue, pour un disque de 50 ou 100 mm. Par contre, il est déconseillé de travailler sans incision préalable.
- l'épaisseur de colle et le type de colle ne semblent pas influencer fondamentalement les résultats obtenus. Le choix d'une colle époxy à prise rapide permet d'économiser le temps sur chantier, puisqu'il s'agit d'intercaler l'essai entre la préparation de surface et l'application du système de réparation.
- la reproductibilité des essais est telle que l'on peut se satisfaire a priori d'un nombre d'essais équivalent à 5 ou 6, pour une précision de l'ordre de 12 à 15 %.

Même si les vitesses mesurées ne semblent pas influencer ici sur les résultats, il conviendrait de réaliser l'essai dans de meilleures conditions. Un système de commande hydraulique remplacerait avantageusement la mise en charge manuelle et permettrait un travail à vitesse constante.

La méthode d'essai mise au point est relativement simple, directe, facile à mettre en œuvre, sans nécessiter l'emploi d'un matériel sophistiqué; elle est d'interprétation aisée, moyennant le respect des conditions de travail et de préparation énoncées ci-avant. C'est pourquoi nous pensons que cet essai est indispensable pour une évaluation correcte des caractéristiques résiduelles du matériau avant réparation et qu'il devrait être inclus dans les prescriptions relatives aux performances des techniques de préparation des surfaces.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Conseil National de la Recherche en Sciences naturelles et Génie du Canada et les partenaires industriels de la Chaire Industrielle sur le Béton projeté et les Réparations de l'Université Laval (Ciment St-Laurent, Hydro Québec, King Packaged Materials, Lafarge Canada, Master Builders, Ministère des Transports du Québec, Rhodia, Ville de Montréal, Ville de Québec et W.R. Grace & Co.). Les auteurs remercient vivement Normand Jr Bélair, étudiant au baccalauréat, qui a contribué à la réalisation des essais.

## RÉFÉRENCES

[1] ACI Manual of Concrete Practice, Part 4 (1998) Concrete Repair Guide, ACI Committee 546, 41p.

[2] Cleland, D.J., Yeoh, K.M. and Long, A.E., 'The influence of surface preparation method on the adhesion strength of patch repairs for concrete', Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Colloquium on Materials Science and Restoration, 1992 (Esslingen, Germany) 858-871.

[3] Courard, L., 'Parametric study for the creation of the interface between concrete and repair products', Mater. Struct. 33 (225) (2000) 65-72.

[4] Bijen, J. and Salet, T., 'Adherence of young concrete to old concrete. Development of tools in civil engineering', in Proceedings of 2<sup>nd</sup> Bolomey Workshop, Adherence of young and old Concrete, 1994 (F.H. Wittmann, Aedificatio Verlag, Unterengstringen, Switzerland) 1-24.

[5] Silfwerbrand, J., 'Improving concrete bond in repaired bridge decks', *Concrete International* 12 (9) (1990) 61-66.

[6] Ohama, Y. *et al.*, 'Adhesion of polymer modified mortars to ordinary cement mortar by different methods', in Proceedings ISAP 86 Adhesion between polymers and concrete, 1986 (H.R. Sasse, Chapman and Hall, London) 719-729.

[7] Kuhlmann, L.A., 'Test method for measuring the bond strength of latex-modified concrete and mortar', *Mater. J. Amer. Concrete Institute* 86 (4) (1990) 387-394.

[8] Hindo, K.L., 'In-place bond testing and surface preparation of concrete', *Concrete International* 12 (4) (1990) 46-48.

[9] Cleland, D.J. *et al.*, 'Bond strength of patch repair mortars for concrete', in Proceedings ISAP 86 Adhesion between polymers and concrete, 1986 (H.R. Sasse, Chapman and Hall, London) 235-244.

[10] Cleland, D.J. *et al.*, 'In situ test methods for repaired concrete structures', in Proceedings ISAP 86 Adhesion between polymers and concrete, 1986 (H.R. Sasse, Chapman and Hall, London) 707-718.

[11] Austin, S.A. and Robins, P.J., 'Development of a patch test to study the behaviour of shallow concrete patch repairs', *Concrete Research* 45 (164) (1993) 221-229.

[12] Long, A.E., 'A review of methods of assessing the in-situ strength of concrete', Keynote paper NDT 83, 16-17 Nov. 1983 (Heathrow, London, England) 16 p.

[13] Aguiar, J.L.B. and Cruz, D., 'A study of the adhesion between hydraulic mortars and concrete', *J. Adhesion Sci. Technol.* 12 (11) (1998) 1243-1251.

[14] Roshoff, K., 'Technical Note: STC-40 Shotcrete Adhesion in situ Tester', in Proceedings of the 5<sup>th</sup> Engineering Foundation Conference, 1990 (ASCE, New York) 103-109.

[15] Cleland, D.J. and Long, A.E., 'The pull-off test for concrete patch repairs', *Proc. Instn Civ. Engrs Structs and Bldgs* 122 (11) (1997) 451-460.

[16] Bungey, J.H. and Madandoust, R., 'Factors influencing pull-off tests on concrete', *Magazine of Concrete Research* 44 (158) (1992) 21-30.

[17] Courard, L. *et al.*, 'Influence of operating conditions and humidity on adherence of repair mortars', in Polymers in Concrete", Proceedings ICPC VIII<sup>th</sup> International Congress, 3-5 July 1995 (Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Oostende, Belgium, 1995) 585-590.

[18] Yeoh, K.M., Cleland, D.J. and Long, A.E., 'The effect of environmental conditions on interface adhesion properties of concrete patch repairs', 2<sup>nd</sup> Int. Conference on Inspection, Appraisal, Repairs and Maintenance of Buildings and Structures, Jakarta, Indonesia, 28-29 Sept. 1992, 237-242.

[19] Austin, S. *et al.*, 'Tensile bond testing of concrete repair', *Mater. Struct.* 28 (179) (1995) 249-259.

[20] Vaysburd, A.M. and McDonald, J.E., 'An evaluation of equipment and procedures for tensile bond testing of concrete repairs', Technical Report REMR-CS-61, US Army Corps of Engineers, Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation Research Program, June, (1999) 65p.

[21] Murray, A. and Long, A., 'A study of the in-situ variability of concrete using the pull-off test method', *Proc. Instn Civ. Engrs*, Part 2, 83, (1987) 731-745.

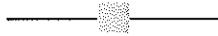
[22] ACI Manual of Concrete Practice, Part 5 (1998), 'Use of epoxy compounds with concrete', ACI Committee 503, 28 p.

[23] Moreau, M. et Mathieu, A., 'Statistique appliquée à l'expérimentation' (Ed. Eyrolles, Paris, 1979) 188 p.

[24] prEN 1542 (1994) 'Products and systems for the protection and repair concrete structures - Test methods. Pull-off test', Comité Européen de Normalisation, Bruxelles.

- [25] NBN B15-201, 'Essais des bétons. Adhérence béton-béton', Institut belge de normalisation, Bruxelles (1972).
- [26] NBN B15-211, 'Essais des bétons. Traction directe', Institut belge de normalisation, Bruxelles (1974).
- [27] NBN B14-210, 'Essais sur mortiers. Adhérence par arrachement', Institut belge de normalisation, Bruxelles (1972).
- [28] CSA A23.2-6B, 'Method of test to determine adhesion by tensile load', Association Canadienne de Normalisation, Ottawa (1994).
- [29] BS 1881: Part 207 Recommendations for the assessment of concrete strength near-to-surface tests. British Standards Institution, London (1992).
- [30] CUR 20, 'Determination of the bond strength of mortars on concrete', Centre for civil engineering research, Codes and Specifications, Gouda (The Netherlands, 1990).
- [31] prEN 1766, 'Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Bétons de référence pour essais', Comité Européen de Normalisation, Bruxelles (1995).
- [32] prEN 13036-1, 'Caractéristiques de surface des routes et aéroports. Méthodes d'essai - Partie 1 : Mesurage de la profondeur de macrostructure de la surface d'un revêtement à l'aide d'une méthode volumétrique à la tache', Comité Européen de Normalisation, Bruxelles (2000).

*Paper received: January 7, 2002; Paper accepted: May 31, 2002*



# RILEM Publications s.a.r.l

157 rue des Blains F-92220 Bagneux FRANCE  
E-mail : ms@rilem.net

Tel : + 33 1 45 36 10 20 Fax : +33 1 45 36 63 20  
<http://www.rilem.net>

**PAPER:** Essai dérivé de l'essai d'adhérence pour la caractérisation de la cohésion superficielle des supports en béton dans les travaux de réparation : analyse des paramètres d'essai (Adaptation of the pull-off test for the evaluation of the superficial cohesion of concrete substrates in repair works: analysis of the test parameters)

**AUTHORED BY:** L. Courard and B. Bissonnette

**RE:**

Courard, L. and Bissonnette, B., 'Essai dérivé de l'essai d'adhérence pour la caractérisation de la cohésion superficielle des supports en béton dans les travaux de réparation : analyse des paramètres d'essai', *Mater. Struct.* **37** (269) 342-350.

PERSONAL COPY EXCLUSIVELY RECEIVED

BY AN EXPERT FROM ONE OF THE CO-AUTHORS

Limits of use of this version

This electronic version was sent to one of the co-authors as his/her personal copy, to be used only with the purpose of sending this paper to any wished colleague of theirs. This results in the fact that corporate use by any library, institute or company is strictly prohibited.

Re-direction of this electronic version by any of their colleagues is not allowed.

Any expert who wishes to receive this file should exclusively apply to one of the authors of the paper.

Citation of this paper

In case this paper is of interest for the future published work of the recipient, it should be quoted by using the above-mentioned reference.

# MATERIALS AND STRUCTURES

## MATERIAUX ET CONSTRUCTIONS

JUNE

2004

JUIN

VOL. 37 - No. 269

### CONTENTS

### SOMMAIRE

Water distribution in beams damaged by alkali-silica reaction: global weighing and local gammadensitometry <i>by S. Multon, E. Merliot, M. Joly and F. Toutlemonde</i> .....	282
Towards a prediction of superplasticized concrete rheology <i>by R. J. Flatt</i> .....	289
Influence of residual stresses in the stress relaxation of cold drawn wires <i>by J. M. Atienza and M. Elices</i> .....	301
Influence of residual stresses on hydrogen embrittlement of cold drawn wires <i>by M. Elices, J. Ruiz and J. M. Atienza</i> .....	305
Moisture permeability measurement under reduced barometric pressures <i>by G. H. Galbraith, D. J. Kelly and R. C. McLean</i> .....	311
Effect on high volume fly ash on mechanical properties of fiber reinforced concrete <i>by O. Kayali</i> .....	318
Influence of type of aggregate and surface roughness on the interface fracture properties <i>by G. Appa Rao and B. K. Raghu Prasad</i> .....	328
Fatigue of sintered steels (Fe - 1.5 Mo - 3 Mn - 0.7 C) <i>by H. Khorsand, S. M. Habibi, K. Jaughorban, H. Yoozhashbizade and S. M. S. Reibani</i> .....	335
Essai dérivé de l'essai d'adhérence pour la caractérisation de la cohésion superficielle des supports en béton dans les travaux de réparation : analyse des paramètres d'essai (Adaptation of the pull-off test for the evaluation of the superficial cohesion of concrete substrates in repair works: analysis of the test parameters) <i>par L. Courard et B. Bissomette</i> .....	342
The use of direct tension tests for the assessment of low temperature properties of bituminous binders <i>by S. Largeaud, H. Raffégaud, B. Simailland, B. Eckmann, E. Sauger, S. Ollier, G. Hervé, L. Wendling, J. Pascot, J.-C. Vaniscote and D. Chabert</i> .....	351
Evaluation of fatigue properties of bituminous binders <i>by J.-P. Planche, D. A. Anderson, G. Gauthier, Y. M. Le Hir and D. Martin</i> .....	356
Practical test methods for measuring the zero shear viscosity of bituminous binders <i>by J. De Visscher and A. Vanelstraete</i> .....	360
Influence of curing on cold mix mechanical performance <i>by J.-P. Serfass, J.-E. Poirier, J.-P. Henrat and X. Carbonneau</i> .....	365
Investigations on Roman amphorae sealing systems <i>by F. Dorrego, F. Carrera and M. Pilar de Lusaín</i> .....	369
<b>RILEM BULLETIN</b>	
<b>BULLETIN DE LA RILEM</b>	
In memoriam of Prof. Raymundo Rivera-Villarreal <i>by Concrete Technology Department, UANL</i> .....	375