

Essai de traction uniaxiale

L'utilisation des silanes fonctionnalisés dans le cas du collage sur béton humide

Fabrice LE MAOU

Technicien supérieur
Section Comportement mécanique et modélisation
Division Bétons et ciments pour ouvrages d'art
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Introduction

Depuis 1987, les essais de traction réalisés au Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC) sur le béton nous ont permis d'acquérir une certaine expérience dans le domaine du collage. Après un rappel des méthodes et des produits utilisés, un nouveau procédé de collage sur matériau humide est décrit.

L'essai de traction sur béton : l'expérience du LCPC

L'essai de traction est effectué sur des carottes cylindriques, collées sur des casques, eux-mêmes fixés rigidement au préalable sur la presse. Ces casques en alliage d'aluminium, de même diamètre que le corps d'éprouve [1] et [2], sont dimensionnés pour obtenir un champ de contrainte homogène dans toutes les sections de l'éprouvette, soit un élargement du casque de l'ordre de 2 (fig. 1). Les mesures d'ouverture de fissure sont réalisées au moyen d'un extensomètre à béton [3].

La colle utilisée est une résine méthacrylate bi-composant. Cet adhésif, mis en œuvre en quelques secondes, est suffisamment résistant, 20 min après le mélange, pour un essai de traction sur béton sec (des ruptures sur béton sec ont pu atteindre 18 MPa).

L'une des qualités de cet adhésif est sa grande tolérance vis-à-vis

des proportions de mélange des composants. Une autre propriété intéressante est sa résistance à la traction, de l'ordre de 25 MPa après 20 min, pour un collage entre les deux casques en alliage d'aluminium.

En revanche, il existe deux principaux inconvénients dans l'utilisation de cette résine :

① le premier concerne les conditions d'hygiène et de sécurité qu'il faut respecter durant sa mise en œuvre. Les fiches de sécurité du fournisseur imposent de travailler

sur des postes convenablement assainis pour éviter tout risque (irritation et sensibilisation) lors de la manipulation des différents composants et solvants ; aussi est-il nécessaire de disposer d'un local avec une aération suffisante doublée d'un système d'aspiration/filtration des poussières et des vapeurs ;

② le second, qui est majeur, est l'incompatibilité de cet adhésif avec l'eau, ou les milieux humides. Pour résoudre ce problème, lors d'essais sur matériau humide, les surfaces à coller sont enduites d'un primaire époxydique bi-composant dont la durée de durcissement à température ambiante est de 24 heures minimum.

Ce primaire, une fois sec, est poncé légèrement dans le but d'éliminer la couche externe durcie au contact de l'air, car celle-ci présente de mauvaises caractéristiques adhésives. Après nettoyage à l'acétone, le collage est effectué comme indiqué précédemment.

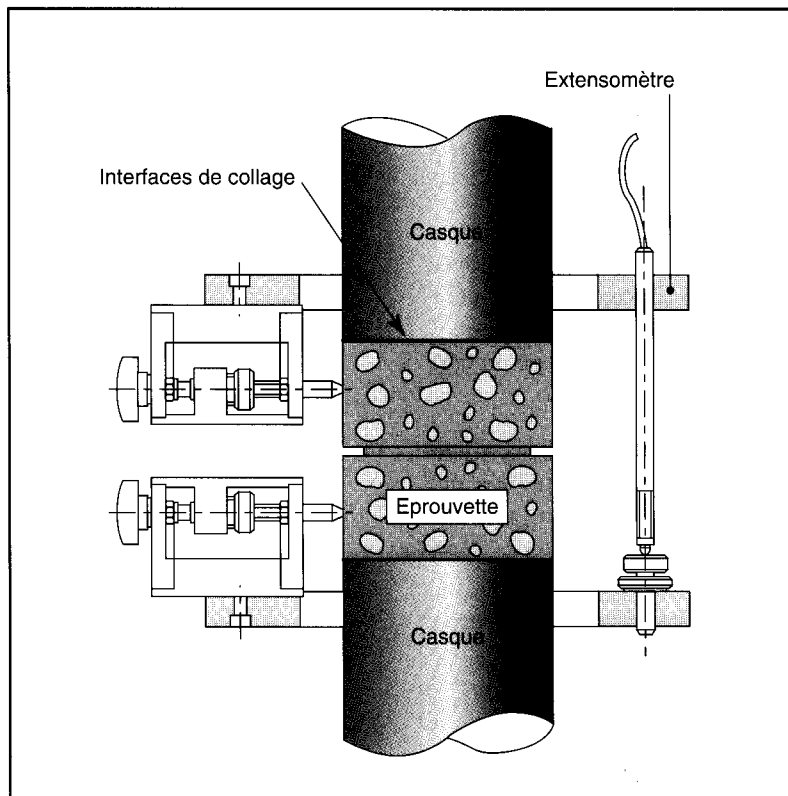


Fig. 1 - Schéma de l'éprouvette de traction équipée de l'extensomètre.

Note

technique

Une étude visant à caractériser les moyens de conservation des éprouvettes [4] a permis de montrer que cette résine époxydique a de mauvaises qualités de protection vis-à-vis de la dessiccation. Aussi, les essais de traction sur des éprouvettes humides enduites de résine époxydique doivent être effectués au plus tard deux à trois semaines après la préparation.

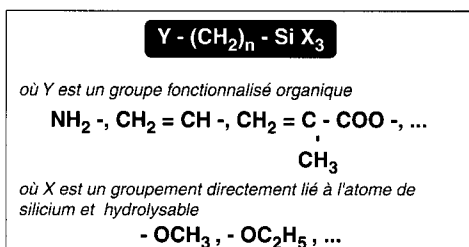
Ces problèmes nous ont conduits à rechercher un autre couple adhésif/primaire qui présenterait une bonne adhérence, aussi bien sur le matériau humide que sur les casques, une simplicité de mise en oeuvre et avec un durcissement rapide. À cet effet, l'utilisation des silanes fonctionnalisés semble être une voie prometteuse.

Les silanes fonctionnalisés

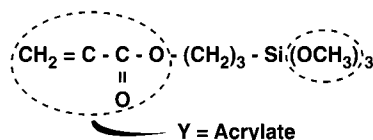
Les silanes fonctionnalisés sont des substances employées en émulsion ou en solution. Ils sont utilisés dans des domaines très différents, comme le renforcement de résines polyester par des fibres de verre dans la construction de structure, le traitement hydrofuge des matériaux, la préparation de matière de charge dans les mélanges de caoutchouc, etc.

Ils sont également employés comme promoteurs d'adhérence entre matériaux inorganiques (verre, minéraux) et polymères organiques.

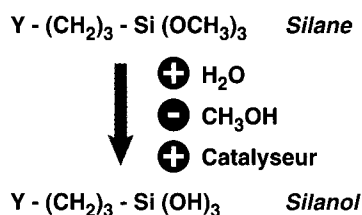
Leurs propriétés sont liées à leur structure moléculaire spéciale, qui est une combinaison organo-siliciée du type :



Dans la formule chimique du silane utilisé, on identifie le groupe fonctionnel Y comme un acrylate :

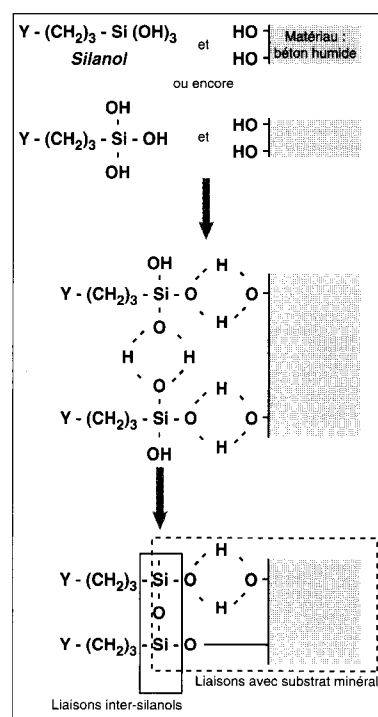


Le groupe fonctionnel X est hydrolysable :

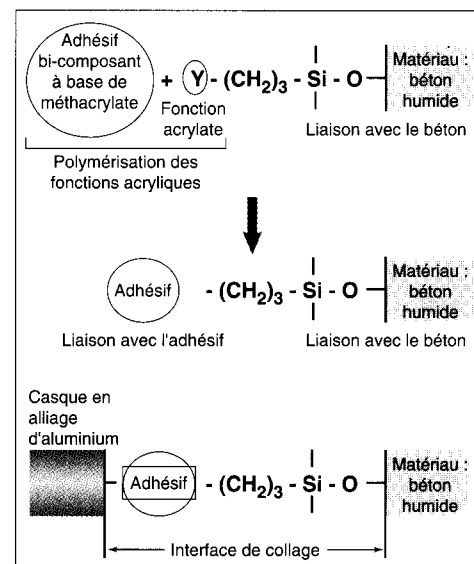


On obtient un silanol, qui comporte des extrémités Si-OH qui sont très réactives avec d'autres groupes Si-OH qui existent dans le béton.

Ce silanol, en contact avec le béton humide, développe des liaisons fortes avec le matériau par les groupes SiOH, ainsi que des liaisons inter-silanol :



La réaction du silane avec un adhésif s'effectue par le groupe Y, qui est choisi de même nature que l'adhésif :



Le silane, une fois hydrolysé, est appliqué sur la surface du béton. Il développe quasi instantanément, d'une part, des ancrages dans le béton par l'intermédiaire des fonctions silanols (Si-OH) et, d'autre part, des « ancrages potentiels » vers un adhésif, via la fonction organique Y.

Mode d'emploi

L'hydrolyse s'obtient en rajoutant 2 % de silane en volume dans une solution aqueuse à 0,5 % d'acide acétique (de pH = 3,5). Le mélange est une émulsion qu'il faut briser avec un agitateur magnétique pendant 30 min à une vitesse de 750 tr/min. La solution de silanol ainsi préparée reste utilisable pendant 24 heures.

Les surfaces humides de l'éprouvette de béton, préalablement essuyées à l'aide d'un papier absorbant, sont plongées dans la solution de silanol quelques secondes. On laisse s'égoutter ces surfaces pendant 5 min environ. L'adhésif à base de résine méthacrylate est préparé et le collage s'effectue comme pour le matériau sec.

Premiers essais sur éprouvettes saturées d'eau et résultats

Une vingtaine d'éprouvettes (béton ordinaire et béton à hautes performances âgés (BHP) [5]) ont été préparées par saturation d'eau sous vide (pression constante de 25 hPa pendant 4 h et intrusion d'eau pendant 20 h) et conservées dans l'eau jusqu'aux essais de traction.

Après collage, selon le processus décrit plus haut, des essais de traction ont été effectués jusqu'à rupture, à vitesse de contrainte imposée de 0,05 MPa/s. La valeur de contrainte maximale enregistrée sur les éprouvettes en BHP a été de 7,8 MPa avec des ruptures systématiquement dans le matériau, entre 3 et 5 cm des extrémités. Le béton était saturé d'eau.

Une variante de ce mode opératoire de collage a été appliquée sur d'autres lots de bétons : béton de

fibres métalliques [6] et béton à ultra-hautes performances fibré [7]. Elle consistait à essuyer le surplus de silanol plutôt que de le laisser s'égoutter.

Ces essais ont conduit, dans quelques cas, à des ruptures à l'interface colle-béton. Dans le cas du béton à ultra-hautes performances fibré, ceci pourrait être imputé à la très faible porosité du béton, qui ne permet pas une bonne pénétration du silanol.

Conclusions

Cette méthode de traitement des éprouvettes humides pour un essai de traction semble encourageante et nécessite encore quelques tests plus systématiques.

Elle pourrait s'appliquer aussi dans d'autres domaines comme, par exemple, la préparation de surface

de béton au très jeune âge pour l'extensométrie par jauges collées, les essais de fluage en traction, etc.

Il semble, de plus, que l'utilisation de silanol sur un matériau sec peut augmenter le nombre de liaisons adhésives, donc la résistance mécanique du joint collé, ce qui peut s'avérer utile dans le cas d'essais de traction sur des matériaux plus résistants.

L'expérience actuelle semble indiquer que, d'une part, il est préférable de laisser s'égoutter le surplus de silanol plutôt que de l'essuyer et que, d'autre part, lorsque la porosité du béton est trop faible, comme dans le cas des bétons à ultra-hautes performances, l'utilisation des silanes nécessite une mise au point particulière.

La rédaction de ce compte rendu d'étude expérimentale doit beaucoup aux conseils donnés par Véronique Bouteiller, et la préparation des éprouvettes et des silanols à Josette Gawsewitch et Stéphane Mazounie, que je remercie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] LE MAOU F. (1992), *Mise au point d'un essai de traction uniaxiale sur éprouvette entaillée en béton de fibres*, Note de la Division BCOA.

[2] NOGUES M. (1992), *Étude des propriétés mécaniques de différents bétons de fibres*, Mémoire de DEA, Université PARIS VI-ENPC.

[3] BOULAY C., COLSON A. (1981), Un extensomètre à béton éliminant l'influence des déformations transversales sur la

mesure des déformations longitudinales. *Materials and Structures*, Vol. 14, pp. 35-38.

[4] TOUTLEMONDE F., LE MAOU F. (1996), Protection des éprouvettes de béton vis-à-vis de la dessiccation. Le point sur quelques techniques de laboratoire, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 203, mai-juin, pp. 105-119.

[5] TOUTLEMONDE F. (1995), *Résistance au choc des structures en béton. Du comportement du*

matériau au calcul des ouvrages, Rapport de recherche du LCPC, hors collection.

[6] CASANOVA P. (1996), *Bétons renforcés de fibres métalliques, du matériau à la structure*, Publications du LCPC, Études et recherches LPC, OA20.

[7] ROSSI P., RENWEZ S., GUERRIER F. (1996), Les bétons fibrés à ultra-hautes performances. L'expérience actuelle du LCPC, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 204, juil.-août, pp. 87-95.