

Mise au point d'une procédure de caractérisation quantitative des surfaces démolies en béton en vue de travaux de réfection

N. Bélair¹, B. Bissonnette¹, Luc Courard²

¹CRIB - Département de génie civil, Université Laval, Québec

²Département de géoressources, géotechnologies et matériaux de construction, Université de Liège, Belgique

Résumé

Cet article présente l'état d'avancement d'un projet visant le développement et la validation d'une technique permettant de caractériser de façon quantitative l'intégrité mécanique d'une surface en béton préparée (démolie) aux fins de travaux de réfections superficielles. Dans un premier temps, une étude de l'influence des variables de base (taille des pastilles métalliques, profondeur de forage, nature de l'adhésif, etc.) relatives à l'essai d'arrachement sur la cohésion du béton a été réalisée afin d'optimiser la procédure expérimentale. De plus, les performances comparatives de deux dispositifs d'essai disponibles commercialement ont été évaluées afin d'identifier l'appareil le mieux adapté (facilité et rapidité d'exécution, efficacité, reproductibilité, coût, etc.). Afin de valider le protocole expérimental retenu et d'évaluer quantitativement les effets du mode de démolition, des essais d'arrachement ont été réalisés en laboratoire sur une série d'éléments en béton dont la surface a été préparée au moyen de différentes méthodes de préparation, notamment le marteau pneumatique, la scarification, le jet de sable et le jet d'eau. Une technique de caractérisation quantitative de la rugosité de surface a également été élaborée. Sur la base de ces essais, il est possible d'établir l'influence du mode de démolition sur l'intégrité mécanique de la surface obtenue et d'émettre des recommandations préliminaires.

1. Introduction

De nos jours, plusieurs ouvrages d'art en béton ont besoin d'être rénovés. L'enlèvement du béton détérioré est une des étapes les plus importantes car un béton support sain est souvent la clé d'une bonne adhérence de la réparation et de la durabilité de celle-ci. Plusieurs techniques de démolition sont offertes de nos jours et nous sommes en droit de nous interroger sur la fiabilité de chacune d'elles. Dans le projet en cours, les méthodes de démolition à l'étude sont le marteau-piqueur (7, 14 et 21 kg), l'hydrodémolition (100 à 130 MPa), la scarification, le jet de sable et l'abrasion (polissage). Pour évaluer l'adhérence d'une réparation sur les surfaces préparées par ces diverses techniques, l'essai de pull-off a été préconisé. Deux dispositifs d'essai disponibles commercialement ont été comparés. Dans un premier temps, une analyse des paramètres influençant la réalisation et les résultats de l'essai est présentée. Par la suite, il est question de l'influence des différentes méthodes de démolition sur la rugosité de surface, la résistance résiduelle du substrat et l'adhérence des réparations.

2. Paramètres influençant la cohésion

2.1 Type et quantité de colle

Suite aux nombreux essais de laboratoire réalisés par L.Courard^{1, 2} et N.Bélair, il a été possible d'émettre quelques recommandations afin d'établir une procédure d'essai unique pour tous les essais futurs du projet. Tout d'abord, trois types de colle ont été évalués: Loadflex, Sikadur 31 Hi-Mod et PowerFix 3^{TU}. Des mesures comparatives n'ont dénoté aucune différence significative pour l'évaluation de la cohésion. Il en est de même pour la quantité de colle appliquée. Le premier type a été mis de côté étant donné son odeur

désagréable. Le troisième quant à lui a été utilisé dans des conditions où la température ambiante se situait au-dessus de 30°C, puisqu'il offrait la possibilité de réaliser l'essai après une très courte période (environ 2 heures de durcissement). En règle générale, c'est la colle Sikadur 31 Hi-Mod qui a été utilisée.

2.2 Diamètre de la pastille métallique

Lors des essais, trois diamètres de pastilles ont été évalués : 50, 75 et 100 mm. D'après les résultats, il semble qu'un diamètre plus petit procure une cohésion plus élevée. Il pourrait donc être possible d'établir une relation entre ces trois dimensions. Pour la réalisation des essais futurs, un diamètre de 75 mm a été préconisé étant donné que l'appareil choisi pour réaliser les tests ne permet pas l'utilisation de pastilles de 100 mm (section 2.5) et que la norme canadienne CSA A23.2-6B impose un diamètre qui vaut 3.5 fois le plus gros diamètre des granulats et au minimum 75 mm³.

2.3 Profondeur de carottage

Les essais préliminaires ont permis de recommander une profondeur de carottage minimale de 15 mm. Des essais supplémentaires ont dénoté que l'évaluation de la cohésion du béton tend vers une asymptote lorsque la profondeur de carottage se situe dans les environs de 40 mm. La figure 1 présente le pourcentage de réduction de la cohésion, en prenant comme valeur comparative la cohésion sans carottage, en fonction de la profondeur. Cette valeur asymptotique reste toutefois à déterminer. Des essais complémentaires sont présentement en cours mais il semble maintenant qu'une profondeur de 30 mm soit une valeur minimale à atteindre, plutôt que 15 mm, pour minimiser les variations de l'estimation de la cohésion.

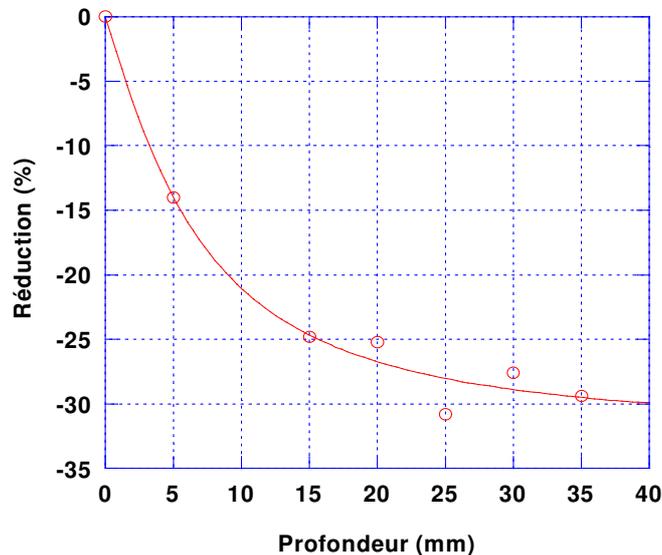


Figure 1. Réduction de la cohésion vs profondeur de carottage

De plus, une analyse de plusieurs résultats a permis de constater qu'il y a peu ou pas d'effet combiné de la profondeur de carottage (15 ou 30 mm) et du diamètre de la pastille (50, 75 ou 100 mm), sauf en l'absence de carottage. De plus, à partir d'une analyse statistique, il a été montré qu'un nombre minimal de 5 essais est nécessaire afin d'obtenir une valeur satisfaisante.

2.4 Vitesse de chargement

Trois vitesses de mise en charge ont été évaluées, soit 0.05, 0.14 et 0.49 MPa/s (vitesses moyennes). Là encore, les mesures comparatives n'ont démontré aucune différence significative de la cohésion du béton. Toutefois, la norme européenne recommandant une vitesse de 0.05 MPa/s et la norme canadienne 100 N/s, soit 0.02 MPa/s pour un échantillon de 75 mm de diamètre, une vitesse de chargement de 0.05 MPa/s a été utilisée¹.

2.5 Appareil d'essai

Deux types d'appareil ont été mis à l'essai afin d'évaluer lequel est le mieux adapté à nos besoins, soit l'*Énerpac^{mc}* et le *Germann Instruments^{mc}*. Les résultats n'ayant présenté aucune différence significative, c'est le système *Germann Instruments^{mc}* qui a été adopté, étant donné sa facilité et sa rapidité d'exécution. De plus, il permet un meilleur contrôle de la vitesse de mise en charge.

2.6 État physique de la surface

Une vérification au microscope binoculaire de l'état physique de la surface résiduelle a été réalisée pour chacune des méthodes de démolition. Les observations ont démontré que la longueur et le nombre de fissures augmentent de façon proportionnelle à l'énergie d'impact pour le marteau pneumatique⁴. Dans l'ensemble, l'hydrodémolition endommage peu la surface mais elle provoque parfois une légère décohésion du béton. Pour ce qui est de la scarification et du jet de sable, elles ne provoquent aucune dégradation majeure.

3. Méthodes de démolition

Les diverses méthodes de démolition qui sont disponibles ne procurent pas des rugosités de surface similaires et une question intéressante se pose. Existe-il un seuil minimum de rugosité à respecter pour que l'adhérence de la réparation soit adéquate? Pour tenter de répondre à cette question, un programme d'essais a été mis en œuvre.

3.1 Coefficient de rugosité

La rugosité d'une surface peut être caractérisée par différents paramètres. À partir d'un programme et d'une interface graphique dans MATLAB[®] établis par F.Perez, il a été possible d'obtenir les courbes de portance pour chacune des préparations de surface. Le tableau 1 présente quelques caractéristiques des préparations de surface, où R_a représente l'écart moyen arithmétique du profil (rugosité moyenne), S_m est le pas moyen des irrégularités du profil et C_f indique la profondeur du profil, à l'exclusion des pics et des creux qui dépassent.

3.2 Cohésion du substrat et adhérence de la réparation

Afin d'établir la cohésion résiduelle du béton support suite à la préparation de la surface, un forage minimal de 30 mm dans le béton a été établi (section 2.3). Après avoir réalisé les essais de cohésion, les surfaces ont été réparées. Elles ont d'abord été humidifiées pendant 24 heures afin de minimiser l'absorption de l'eau du béton de réparation par le béton support, l'excès d'eau ayant été enlevé avant la coulée. Une couche minimale de 75 mm du béton de réparation a été appliquée sur toutes les surfaces. Une cure humide de 7 jours a suivi la mise en place et environ trois mois se sont écoulés entre la coulée et les essais de caractérisation de l'adhérence. Pour réaliser ces essais, le carottage a été réalisé jusqu'à une profondeur

minimale de 30 mm dans le substrat. La figure 2 présente une comparaison de la cohésion du substrat et de l'adhérence de la réparation selon la méthode de démolition utilisée. L'adhérence de la réparation est dans tous les cas inférieure à la cohésion résiduelle du substrat. De plus, l'hydrodémolition ne semble pas apporter une augmentation significative à l'adhérence. La scarification et le sablage procurent une adhérence semblable à la surface naturelle, alors que la surface polie n'a offert aucune adhérence, les ruptures étant survenues lors du carottage. De plus, la cohésion du substrat et l'adhérence de la réparation diminuent avec le poids du marteau pneumatique, étant donné l'état physique du substrat. Il faut toutefois prendre en considération que les coefficients de variation lors de l'évaluation de l'adhérence sont très élevés dans la plupart des cas, étant donné le manque de fluidité du mélange de réparation (affaissement d'environ 30 mm). Des essais supplémentaires sont en cours.

Tableau 1. Caractéristiques de la rugosité des surfaces selon les méthodes de démolition

Méthode	Ra (mm)		Sm (mm)		C _F (mm)
	x	y	x	y	
NAT	0.888	0.922	105	100	2.18
POL	0.382	0.259	75.1	68.8	1.50
SAB	0.728	0.734	83.2	69.1	2.13
SCA	0.665	0.794	96.3	121	1.52
HYD	3.77	3.58	68.1	112	8.02
MPS7	3.47	3.35	110	107	7.28
MPS14	5.85	4.84	119	141	13.0
MPS21	5.00	4.89	125	134	18.6

NAT = aucun traitement.

POL = polissage.

SAB = jet de sable.

SCA = scarification.

HYD = hydrodémolition.

MPS_ = marteau pneumatique.

└───▶ poids de l'appareil

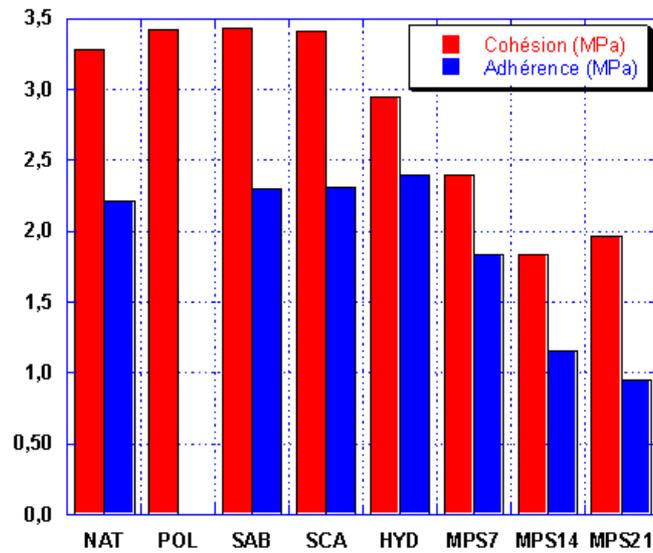


Figure 2. Cohésion du substrat vs adhérence de la réparation

3.3 Rugosité de surface

La figure 3 présente une comparaison de l'adhérence de la réparation et la rugosité de surface selon la méthode de démolition. À première vue, il semble donc qu'une rugosité faible (jet de sable et la scarification) offre une aussi bonne adhérence qu'une rugosité élevée (l'hydrodémolition). Toutefois, il faut remarquer que les méthodes qui offrent une bonne adhérence à la réparation sont celles présentant le moins d'endommagement du substrat.

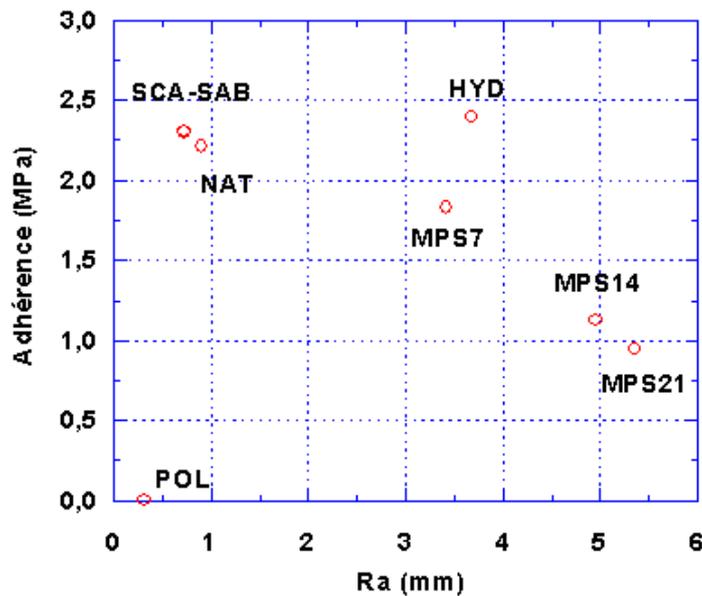


Figure 3. Adhérence de la réparation vs rugosité de surface

4. Conclusion

L'évaluation de la cohésion superficielle du substrat en béton est utile dans la mesure où elle permet d'avoir une évaluation qualitative des performances du béton, à partir de la préparation de surface. Il ressort clairement des essais que, pour un produit de réparation donné, il existe une corrélation entre l'adhérence de ce produit - c'est-à-dire la qualité de la réparation- et la cohésion superficielle du béton support. Ceci est particulièrement vrai pour les réparations au marteau-piqueur qui induisent des fissures parallèles à l'interface, par conséquent, des zones plus fragiles qui expliquent les moins bons résultats. Toutefois, il n'est pas possible, en l'état actuel, d'établir une corrélation entre la rugosité mesurée et l'adhérence de la réparation ; les résultats sont en effet biaisés par cette fissuration sub-interfaciale.

L'essai de cohésion superficielle apparaît donc comme utile et efficace, moyennant le respect de quelques règles de mise en œuvre (diamètre de pastilles, profondeur de carottage), pour l'évaluation des performances du béton avant réparation.

Références

1. Courard, L. *Projet RM-247, préparation des surfaces, rapport préliminaire*. Université Laval, août 2001.
2. Courard, L. et B.Bissonnette. *Essai dérivé de l'essai d'adhérence pour la caractérisation de la cohésion superficielle des support en béton dans les travaux de réparation*, Materials and Structures.
3. CSA A23.3-6B (1994). *Method of test to determine adhesion by tensile load*, Association Canadienne de Normalisation, Ottawa.
4. Courard, L. et B.Bissonnette. *Quantification of the influence of the removal techniques upon residual cracking*, Concrete International.