



## Coopération scientifique Québec / Wallonie-Bruxelles

# ADHÉRENCE DES RÉPARATIONS EN BÉTON: MESURE ET PRINCIPAUX FACTEURS D'INFLUENCE



B. Bissonnette      Université Laval, Canada



L. Courard      Université de Liège, Belgique



A. Garbacz      Warsaw University of Technology, Poland



A.M. Vaysburd      Vaycon Consulting, USA

K.F. von Fay      U.S. Bureau of Reclamation, USA



## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- Programme de recherche coopératif ACI / USBR
  - ✦ Élaboration de critères de performance pour la préparation des surfaces en béton avant réparation
  - ✦ Objectif général: fournir à l'industrie des lignes directrices, incluant des critères de performance et des spécifications typiques pour la préparation des surfaces, pour la mise en œuvre systématique de réparations durables



## OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- Établir une **corrélation** entre les mesures d'adhérence (traction, cisaillement) et la rugosité de surface du substrat
- Évaluer quantitativement l'effet des **défauts d'alignement** sur les résultats de l'essai d'arrachement en traction
- Comparer les méthodes disponibles pour estimer les **paramètres de rugosité** d'une surface préparée
- Déterminer l'**état humidité optimal** dans le béton de support avant réparation
- Caractériser l'effet de la **carbonatation** sur l'adhérence



# PROGRAMME EXPÉRIMENTAL GÉNÉRAL

- Dalles d'essai
  - ✦ Fabrication des corps d'épreuve (dalles)
  - ✦ Préparation de surface, caractérisation et conditionnement
  - ✦ Réparation (resurfaçage)





# PROGRAMME EXPÉRIMENTAL GÉNÉRAL

- Essais sur dalle
  - ✦ Essais d'arrachement en traction
  - ✦ Essais d'arrachement en torsion



# MÉTHODOLOGIE

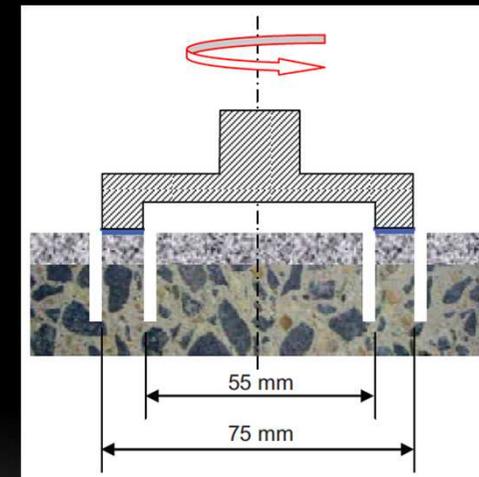
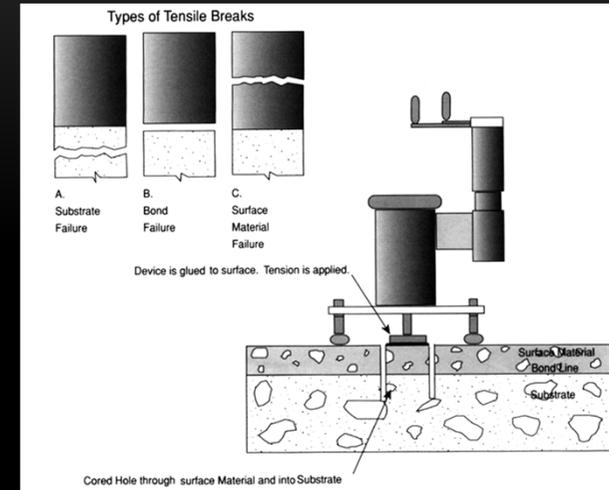
- Évaluation de l'adhérence

- ✦ Traction

- ✧ Méthode *in situ* répandue  
(ASTM C1583, EN 1542:1999)

- ✦ Cisaillement

- ✧ Essai d'arrachement en torsion





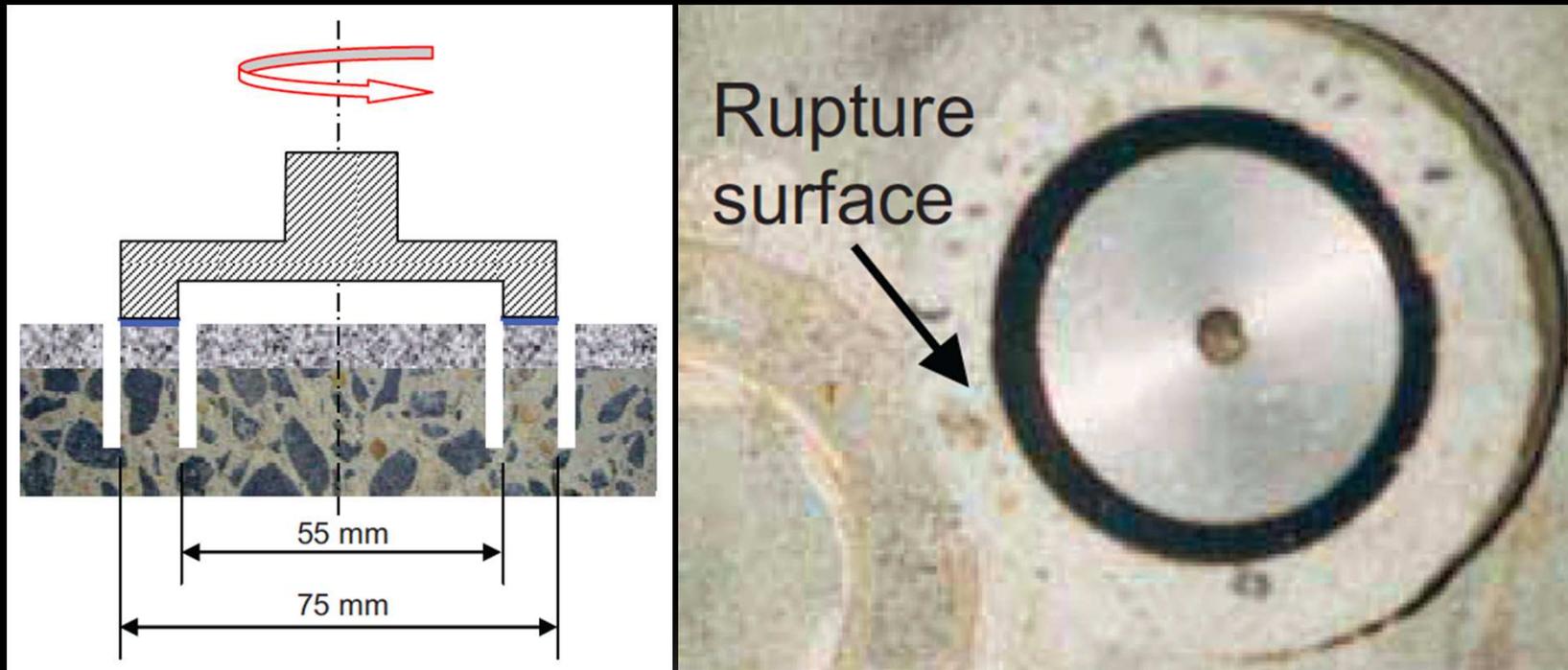
# MÉTHODOLOGIE

- Évaluation de l'adhérence



# MÉTHODOLOGIE

## ❖ Essai d'arrachement en torsion





# MÉTHODOLOGIE

- Influence de la rectitude d'alignement

- ✦ Évaluation expérimentale

- ✧ Série de 6 dalles de béton de 600×400×100 mm fabriquée pour chacun de trois mélanges de béton (30 MPa, 40 MPa et 50 MPa)
- ✧ Forages à désalignement contrôlé
  - angles d'inclinaison contrôlés de 0°, 2° et 4° (p/r verticale)
  - profondeurs de pénétration dans le substrat de 15 et 30 mm

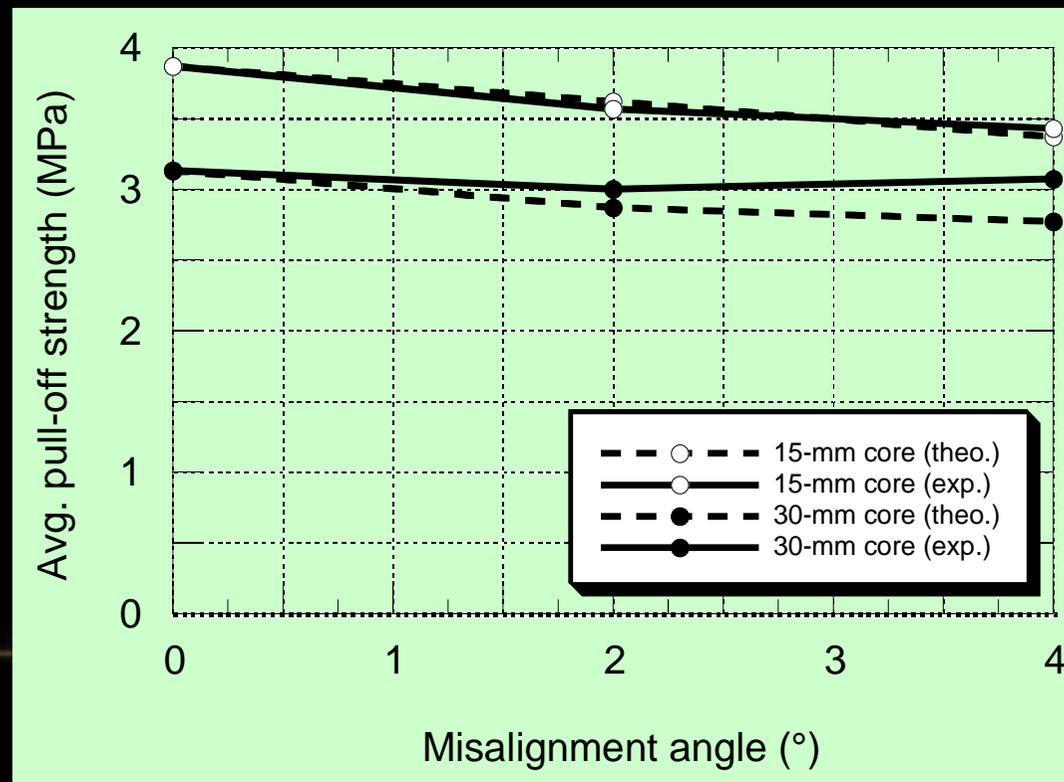
- ✦ Évaluation théorique (élastique) complémentaire (code EF)

- ✧ Type de désalignement: forage vs. chargement



## RÉSULTATS ET ANALYSE

- Influence d'un **désalignement** sur les résultats des essais d'arrachement





# MÉTHODOLOGIE

- Influence de la préparation de surface

- ✦ Méthodes évaluées

- ✧ jet de sable (SaB)

- ✧ grenailage (ShB)

- ✧ scarification (Sc)

- ✧ hydrodémolition à 100 MPa (HJ)

- ✧ marteau à percussion de 7 kg (JH)

- ✦ Série de dalles de béton de 650×1250×150 mm fabriquée pour chacun de deux mélanges de béton (25 MPa et 35 MPa)



# MÉTHODOLOGIE

- Influence de la préparation de surface

- ✦ Référence: dalle profilée artificiellement

- ✦ Absence de dommages induits

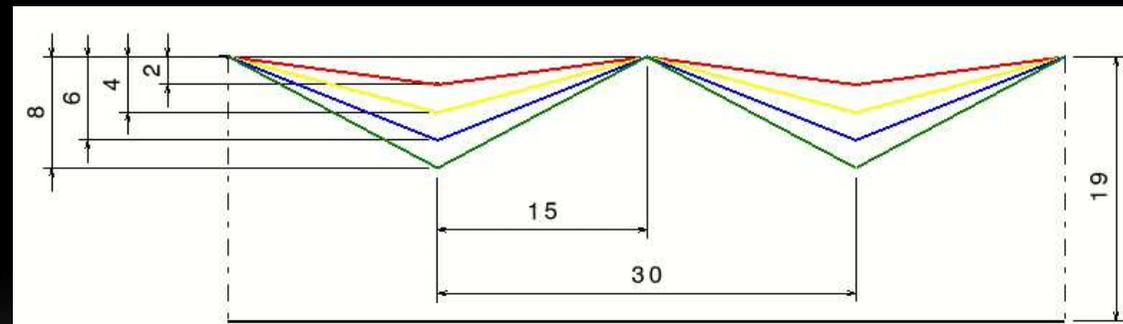
- ✦ Matrices en acrylique usinées avec un profil ondulatoire triangulaire ont été installées à la base du coffrage ( $\lambda = 30$  mm)

- ✦  $A = 2$  mm

- ✦  $A = 4$  mm

- ✦  $A = 6$  mm

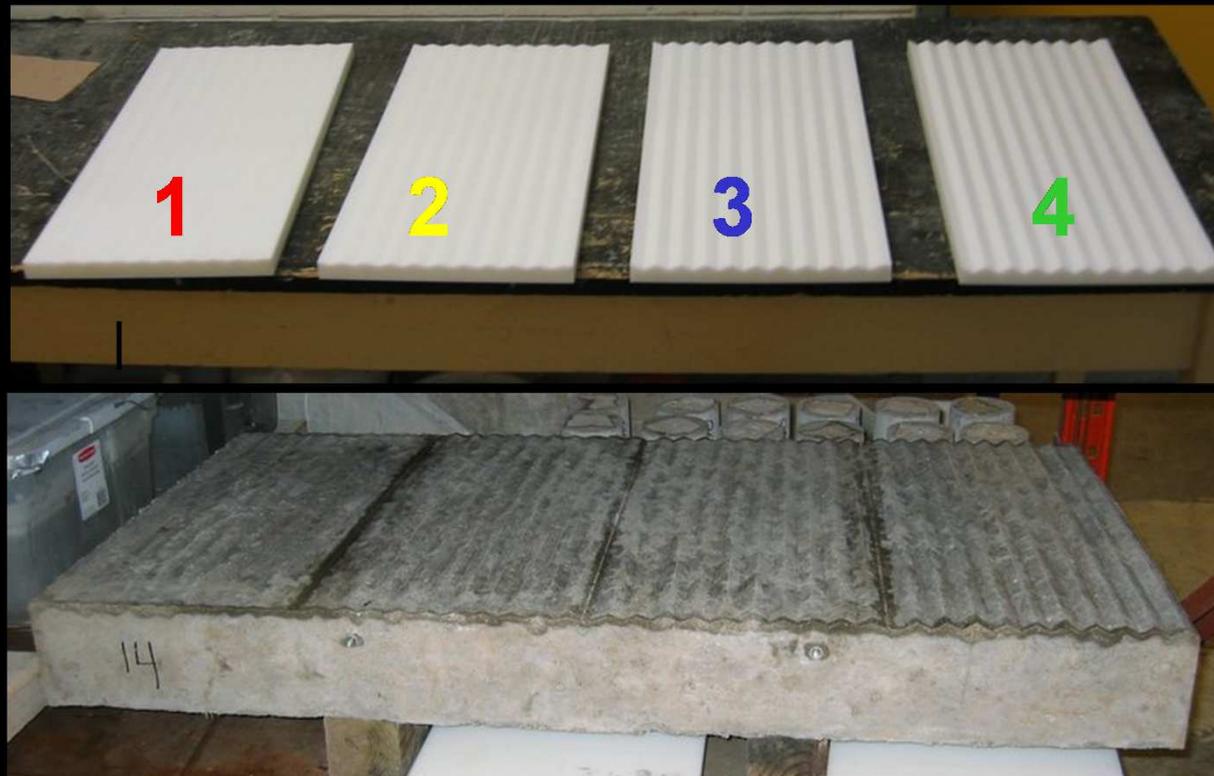
- ✦  $A = 8$  mm





# MÉTHODOLOGIE

- ✦ Référence: dalle profilée artificiellement



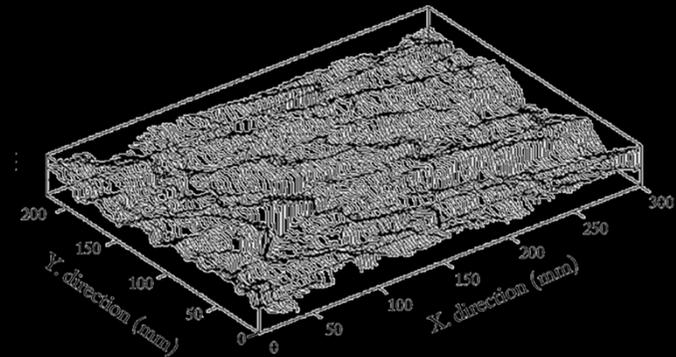


# MÉTHODOLOGIE

- Influence de la préparation de surface: rugosité

- ✦ Méthodes considérées

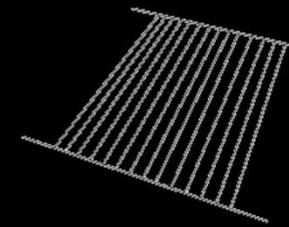
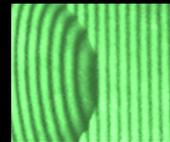
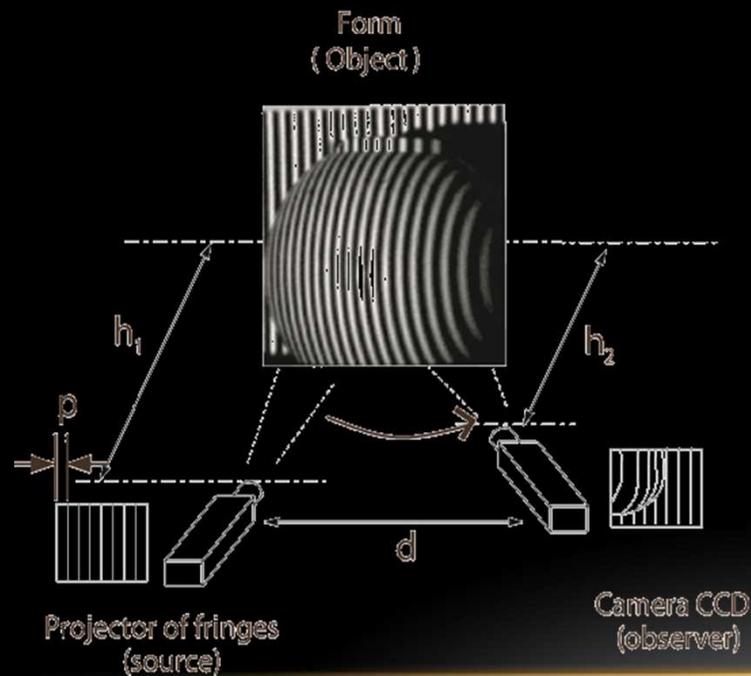
- ✦ Profilométrie mécanique (stylet)
- ✦ Profilométrie optique au laser
- ✦ Profilométrie optique par interférométrie
- ✦ Tache de sable (ASTM E965; EN 13036-1:2002)
- ✦ Indice CSP (*concrete surface profile*) proposé par le International Concrete Repair Institute (ICRI Guideline No. 03732)



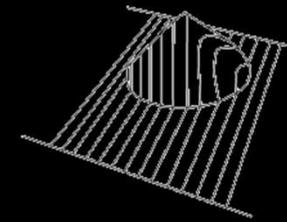


# MÉTHODOLOGIE

- ❖ Profilométrie optique par interférométrie (projection de Moiré)
  - Distortion de franges de lumière parallèles projetées sur une surface (lignes de niveau)



Fringes projected on a plane surface



Fringes projected on an unspecified volume



Cone



Hemisphere

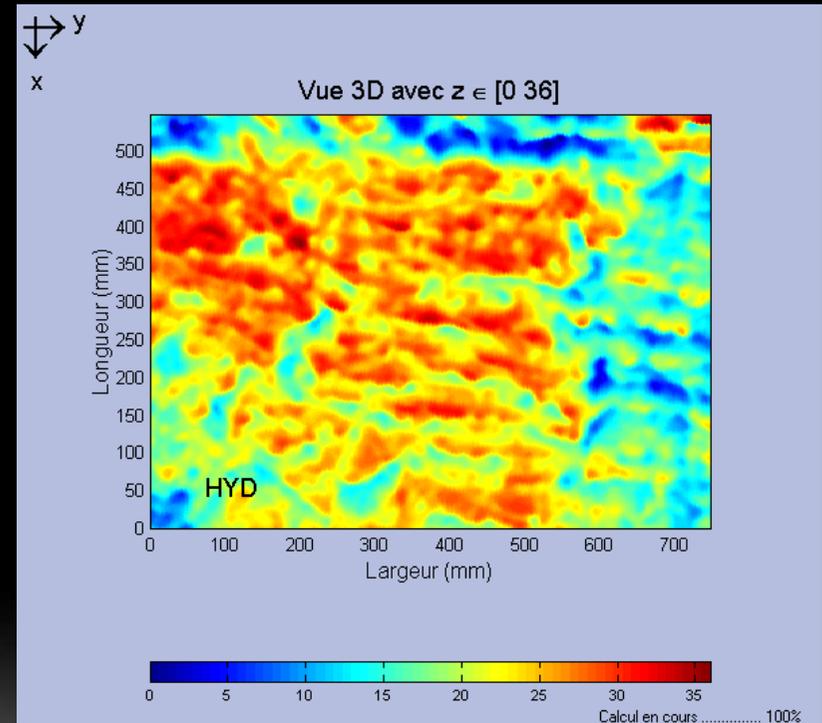
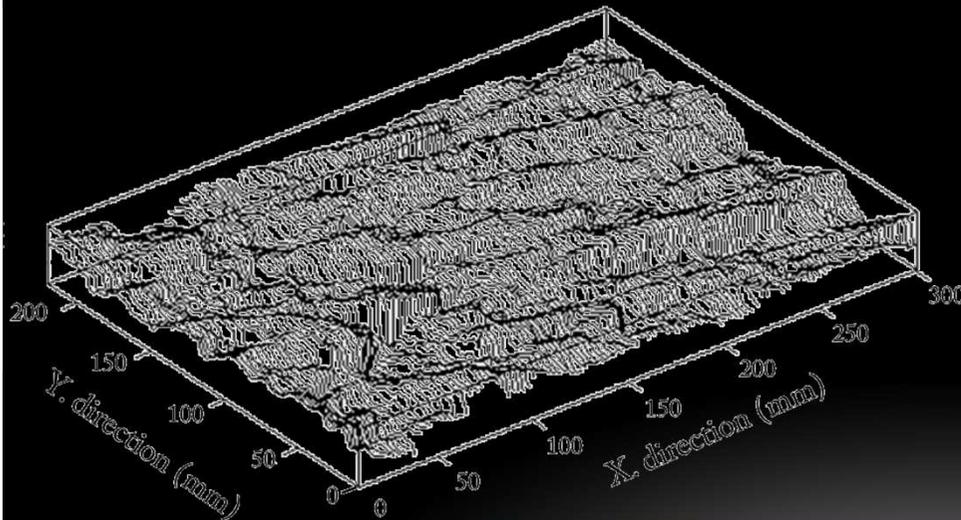
Relation between form and level line



# MÉTHODOLOGIE

## ❖ Profilométrie optique (type *Moiré*)

- Appareil *InSpeck 3*
  - Résolution  $\approx 0,05$  mm
  - Pas de mesure: 0,35 mm

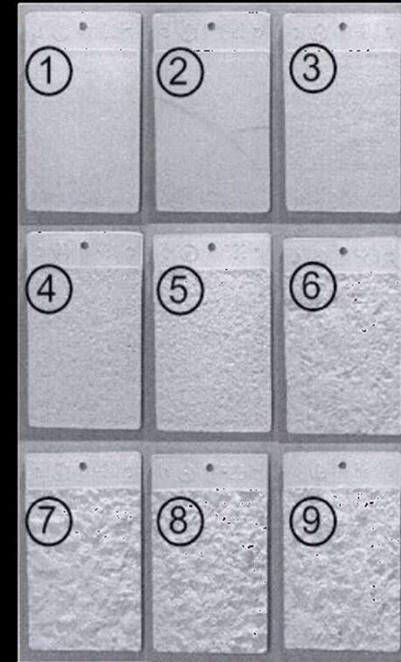




# MÉTHODOLOGIE

## ❖ Indice CSP (*concrete surface profile*)

- Approche semi-quantitative simple développée pour les enduits et revêtements minces (palette de référence)
- Couvre seulement une fraction du spectre de rugosité d'intérêt pour les réparations en béton





# MÉTHODOLOGIE

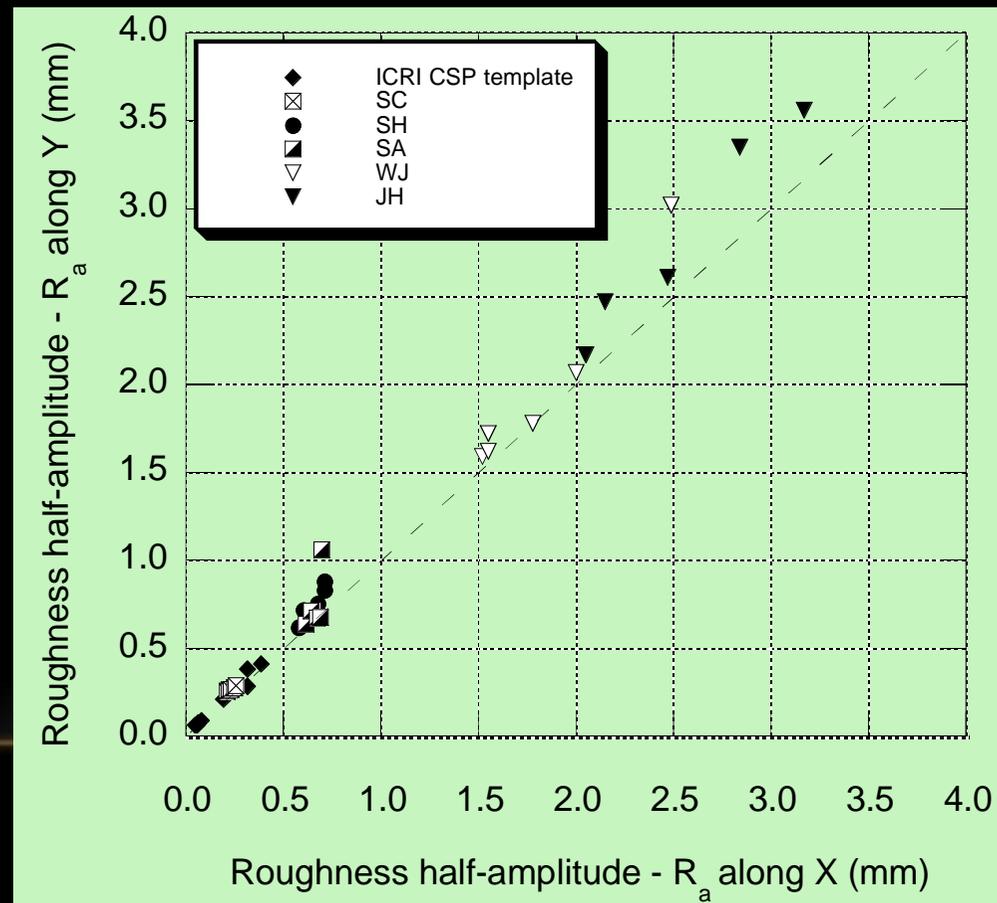
- Influence de la préparation de surface: **intégrité mécanique**
  - ✦ Mesure de résistance superficielle
    - ✦ Essai d'arrachement en traction
  - ✦ Mesure NDT
    - ✦ Sondages au marteau Schmidt





# RÉSULTATS ET ANALYSE

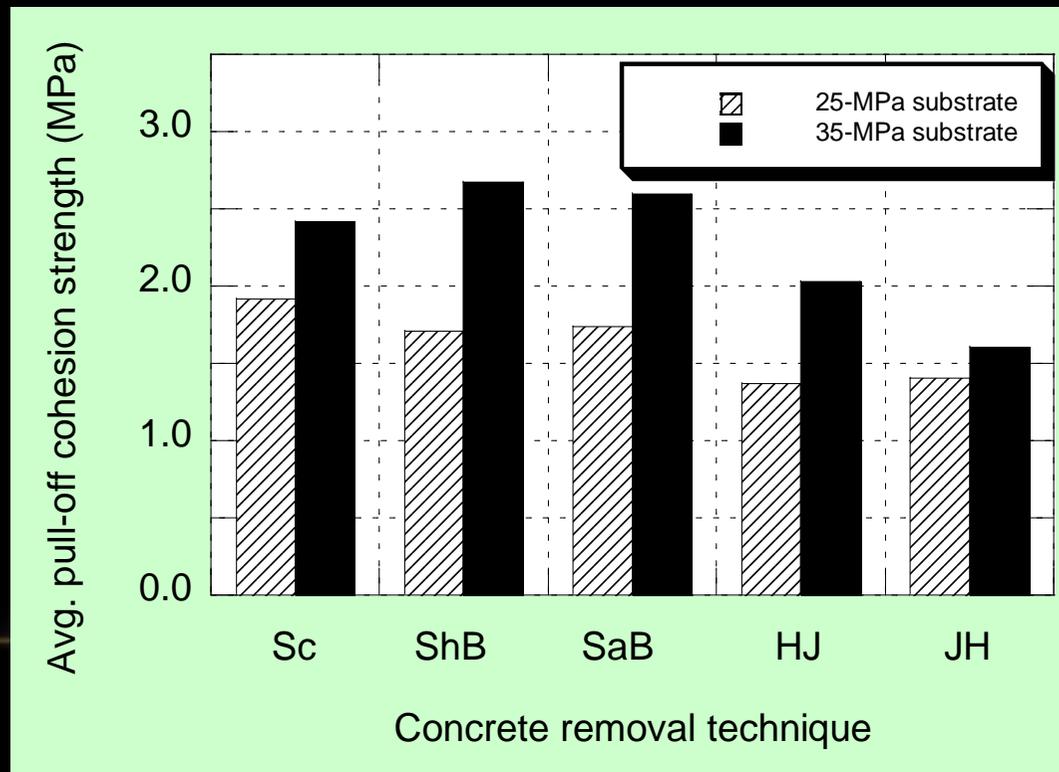
- Influence de la préparation de la surface : **rugosité**





## RÉSULTATS ET ANALYSE

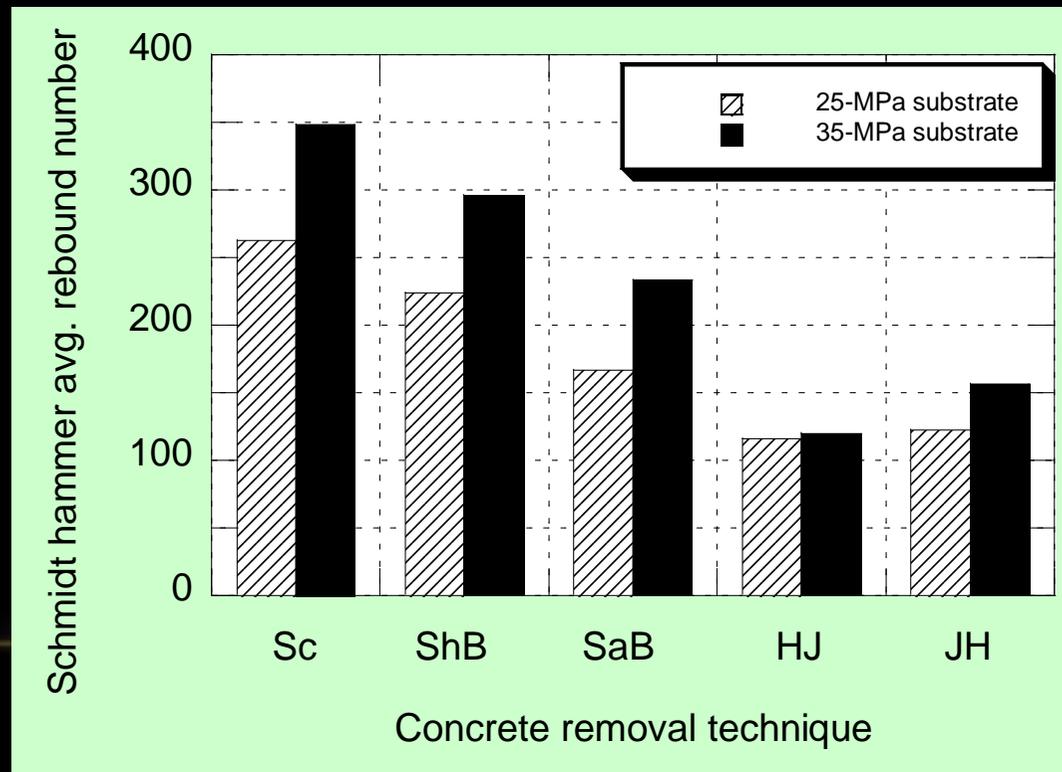
- Influence de la préparation de la surface: **intégrité**
  - ✦ Essais d'arrachement (directement sur la surface)





# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Influence de la préparation de la surface: **intégrité**
  - ✦ Sondages au marteau *Schmidt*

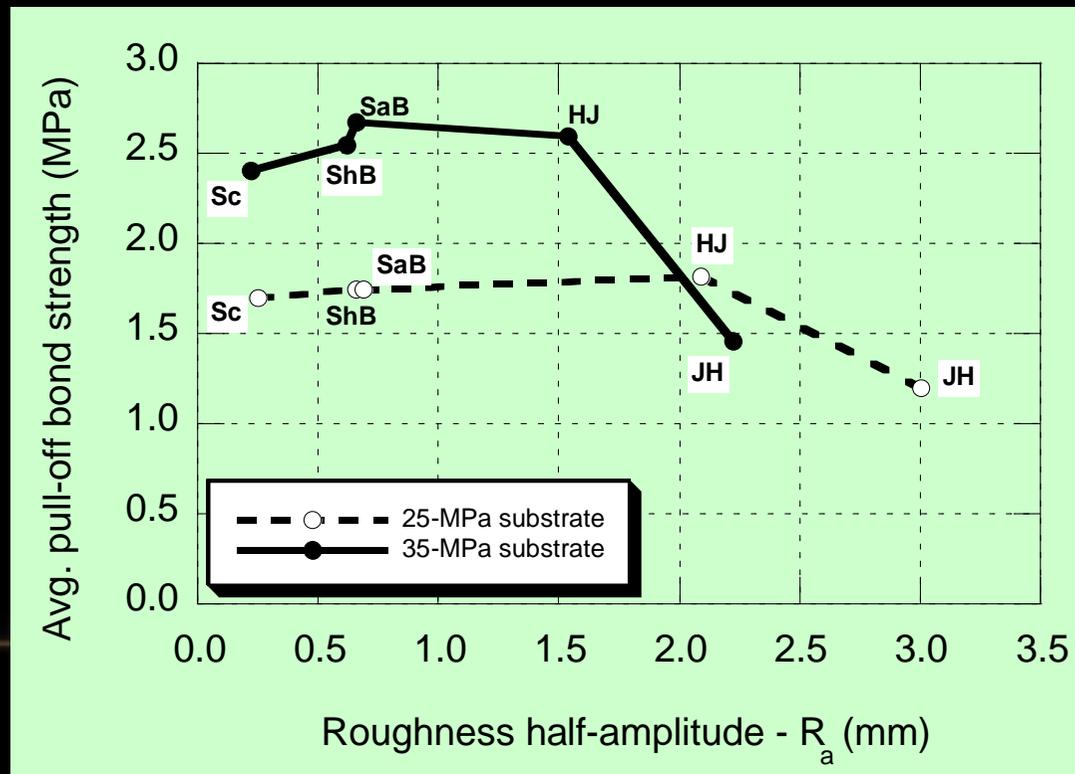




# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Évaluation de l'adhérence

- ✦ Essais d'arrachement en traction

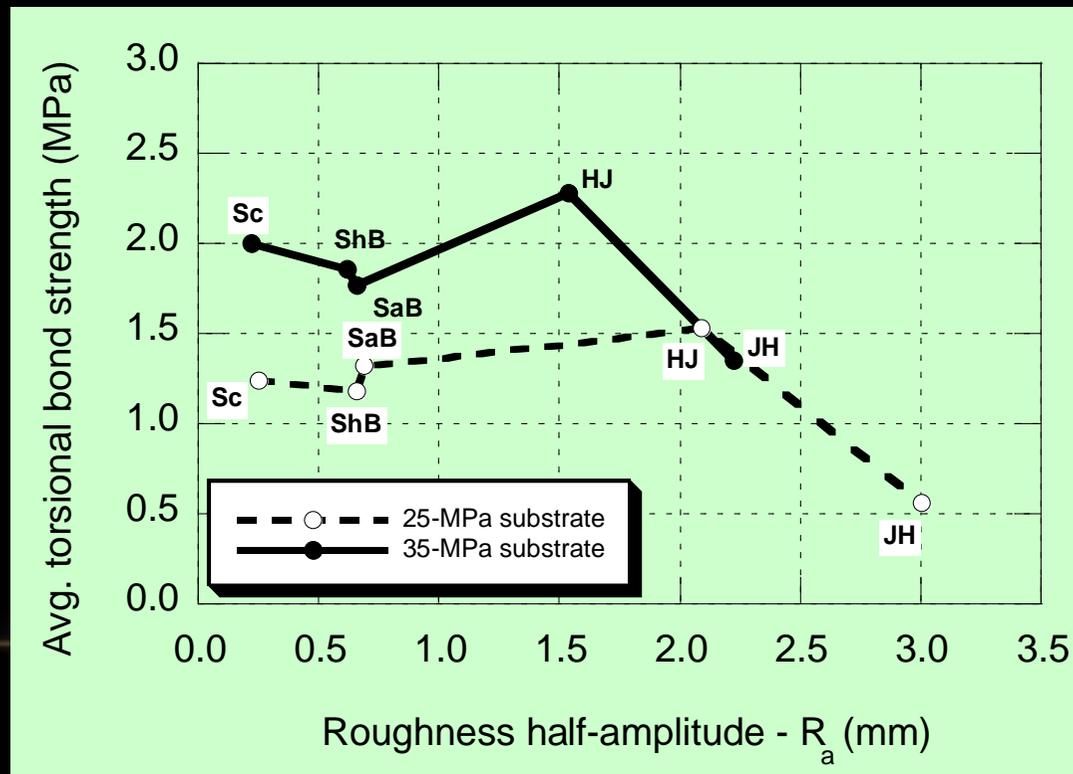




# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Évaluation de l'adhérence

- ✦ Essais d'arrachement en torsion

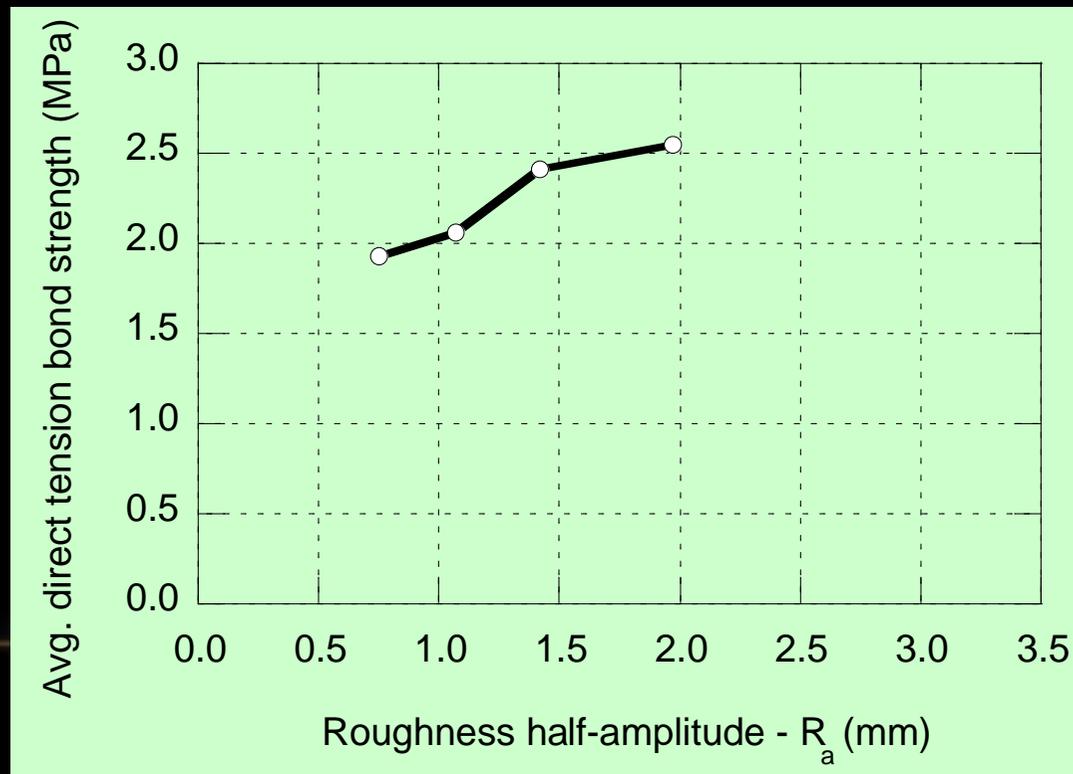




# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Évaluation de l'adhérence

- ✦ Essais d'arrachement en traction – *profil artificiel*





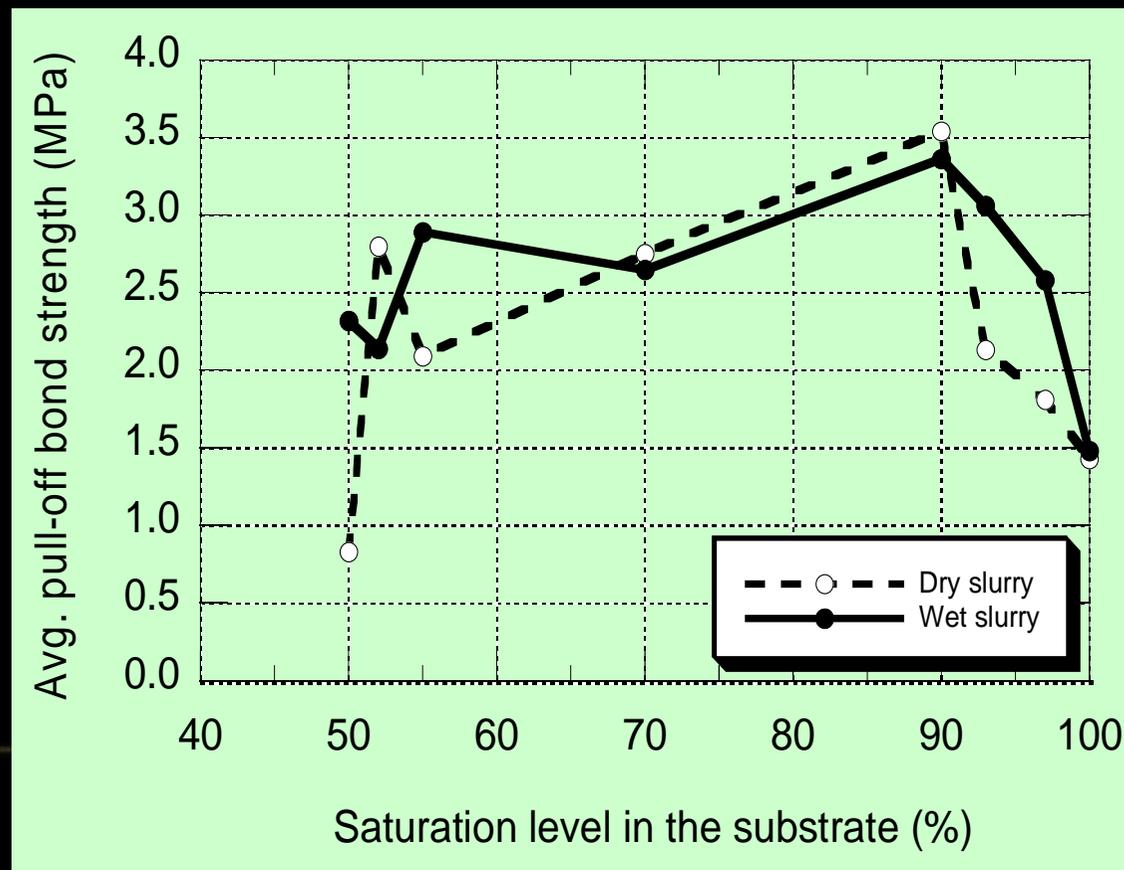
# MÉTHODOLOGIE

- Évaluation de la teneur en humidité du substrat
  - ✦ Identification en eau optimale pour l'adhérence d'une réparation
  - ✦ Méthodes de mesure indirectes
    - ✦ Test d'absorption initiale de surface (ISAT)
    - ✦ Version modifiée du test de succion capillaire (MCST)
  - ✦ Des séries de corps d'épreuve ont été fabriquées avec trois bétons ordinaires (30 MPa, 40 MPa et 50 MPa)
    - ✦ Traitements de surface: jet de sable et jet d'eau sous pression
    - ✦ Conditionnements en H.R. variés (séquences) pour obtenir 8 niveaux d'humidité couvrant un spectre d'humidité relative de 50 à 100 %



# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Influence de la **teneur en humidité**





# MÉTHODOLOGIE

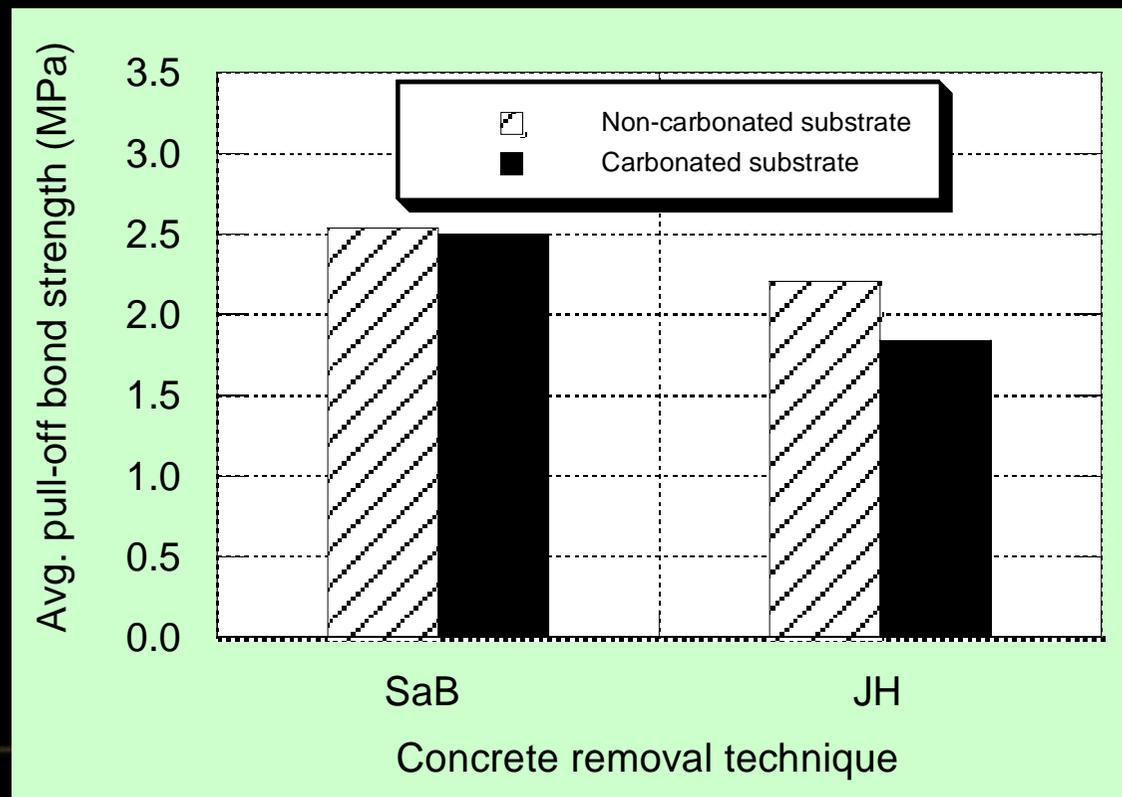
- Évaluation de la carbonatation

- ✦ Une série de 18 dalles de 400×400×100 mm a été préparée avec un mélange de béton de 28 MPa
  - ✦ Traitements de surface
    - jet de sable (9 dalles)
    - marteau à percussion léger (9 dalles)
  - ✦ Conditionnement
    - dalles protégées de la carbonatation (dalles témoins)
    - exposition au CO<sub>2</sub> contrôlée dans un cabinet de carbonatation



# RÉSULTATS ET ANALYSE

- Influence de la **carbonatation**





## CONCLUSION

- L'essai d'arrachement en traction est une méthode de caractérisation *in situ* très utile
  - ✦ Évaluation de l'adhérence d'une réparation
  - ✦ Évaluation de la résistance en traction superficielle et de l'intégrité mécanique d'une surface en béton
  - ✦ Une évaluation fiable de ces propriétés peut être obtenue (CQ)
- En-deçà du seuil de détection des défauts d'alignement à l'œil nu, l'erreur potentielle maximale sur la mesure atteint environ 10 %
  - ✦ Dans le cadre d'essais pour le contrôle de la qualité, ce biais affecte l'évaluation de la résistance à l'arrachement de façon conservatrice



## CONCLUSION

- L'adhérence d'une réparation du béton dépend d'un certain nombre de paramètres
  - ✦ En l'absence de dommages induits dans le substrat, l'adhérence en traction **augmente avec l'accroissement de la rugosité** du substrat
  - ✦ Le paramètre limitant demeure toutefois **l'intégrité mécanique du béton** de la surface réceptrice
  - ✦ À cet égard, il faut souligner que les équipements à percussion comme le marteau-piqueur induisent des dommages potentiellement importants sur la surface préparée, lesquels peuvent facilement annuler les bénéfices d'une rugosité accrue



## CONCLUSION

- Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que le **niveau optimal de saturation** pour le développement de l'adhérence dans une réparation se situerait **entre 60 et 90 % H.R.**
- Dans la mesure où la préparation adéquatement effectuée, la **carbonatation** semble quant à elle avoir relativement **un impact limité** sur l'adhérence



## CONCLUSION

- Nouveau document émis par le U.S. Bureau of Reclamation (mars 2017)

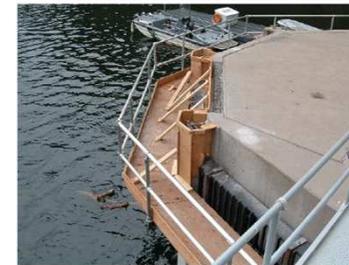
### RECLAMATION *Managing Water in the West*

#### Development of Specifications and Performance Criteria for Surface Preparation Based on Issues Related to Bond Strength

Research and Development Office  
Science and Technology Program

American Concrete Institute Foundation  
Concrete Research Council

Final Report ST-2017-2886-1



U. S. Department of the Interior  
Bureau of Reclamation  
Research and Development Office

March 2017



## REMERCIEMENTS

- Programmes de coopération scientifiques des gouvernements polonais, québécois et de Wallonie-Bruxelles
- Concrete Research Council de l'American Concrete Institute (ACI)
- Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG)
- Fonds de Recherche Québécois sur la Nature et les Technologies (FRQ-NT)
- U.S. Bureau of Reclamation (USBR)
- *Chaire CRSNG sur la Réparation durable et l'entretien optimisé des infrastructures en béton à l'Université Laval*  
(BASF, Euclid, Holcim, Hydro-Québec, Kerneos, King Packaged Materials, Lafarge, Ministère des Transports de Québec, Ville de Montréal, Ville de Québec, W.R. Grace & Co.)



# MERCI!

