

# ÉVALUATION NON DESTRUCTIVES DES STRUCTURES AUTOROUTIÈRES TOUCHÉES PAR LA RÉACTION ALCALIS-GRANULATS

*INFRA-CERIU, Québec, novembre 2012*

**Patrice Rivard, professeur**

**Serge Kodjo, attaché de chercheur**



**GRAI**

GRUPE DE RECHERCHE  
SUR L'AUSCULTATION  
ET L'INSTRUMENTATION



**CRIB**

Centre de recherche sur les  
infrastructures en béton



UNIVERSITÉ DE  
**SHERBROOKE**

# Plan de la présentation

- **Mise en contexte et Cadre du projet**
  - **La réaction alcalis-granulats (RAG)**
  - **Essais en laboratoire (RAG vs autre endommagement)**
  - **Essais in situ**
    - **Méthodes non destructives**
    - **Sites**
-

# Mise en contexte

Le réseau de transport au Québec est considéré comme un réseau majeur avec **185 000 km de routes**.

Près de **12 000 ouvrages d'art** font partie de ce réseau.

Une grande partie de cet ensemble est vieux de **plus de 40 ans**. Plusieurs structures souffrent **problèmes de dégradation**, dont la réaction alcalis-granulats.



# Cadre du projet

- Programme du Federal Highway Administration pour la R &D sur la RAG
- Un des objectifs concerne l'évaluation non destructive: **Identifier, Quantifier et Suivre**
- Une des tâches: valider et calibrer les méthodes ND sur des structures en service

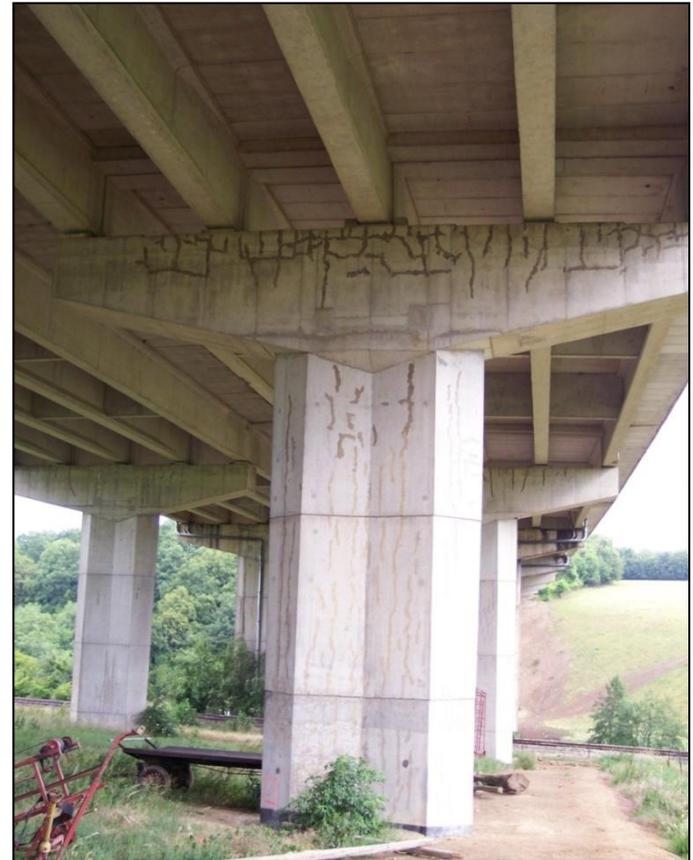
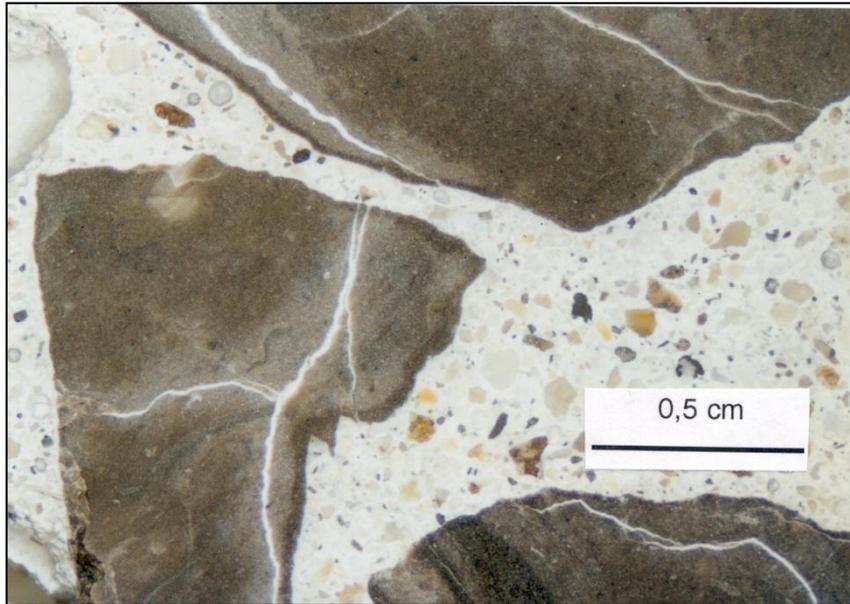
## ► **Protocole d'auscultation**

---

# La réaction alcalis-granulats

- Réaction entre des granulats réactifs et les hydroxydes alcalins en solution dans le béton.
  - La réaction produit un gel gonflant qui cause la microfissuration et l'expansion du béton.
  - En surface, l'expansion différentielle cause des fissures plus importantes.
  - Provoque un changement marqué du module d'élasticité.
-

# La réaction alcalis-granulats

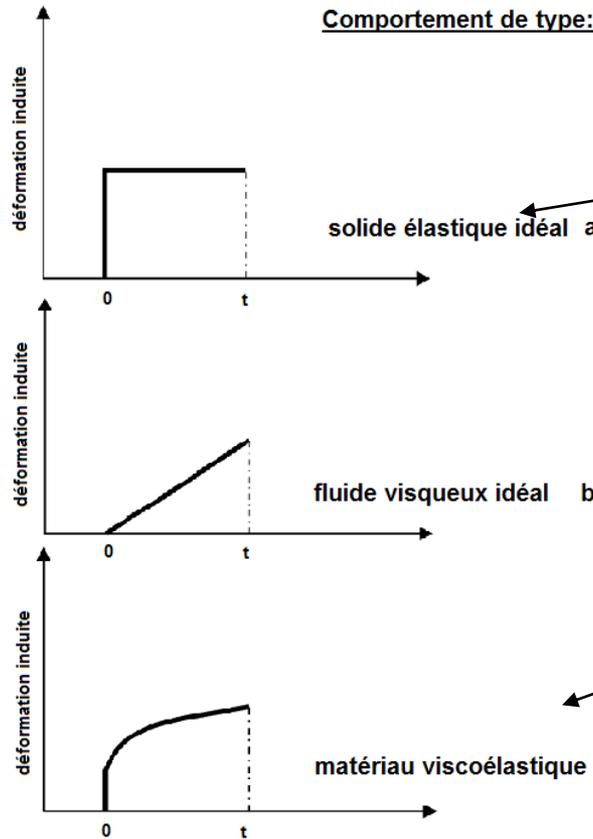
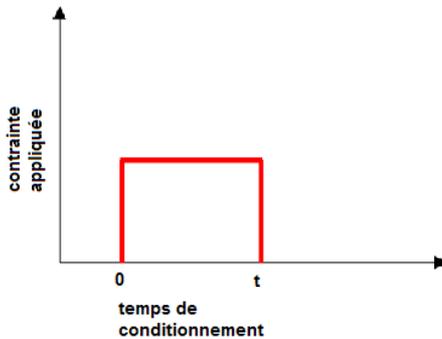


# Essais en laboratoire

**But: développer une méthode non destructive (ND) permettant de distinguer RAG de d'autres processus de dégradation (ex. fissures de fatigue mécanique)**

# Essais en laboratoire

Contrainte imposée



solide élastique idéal a)

fluide visqueux idéal b)

matériau viscoélastique c)

Hypothèse

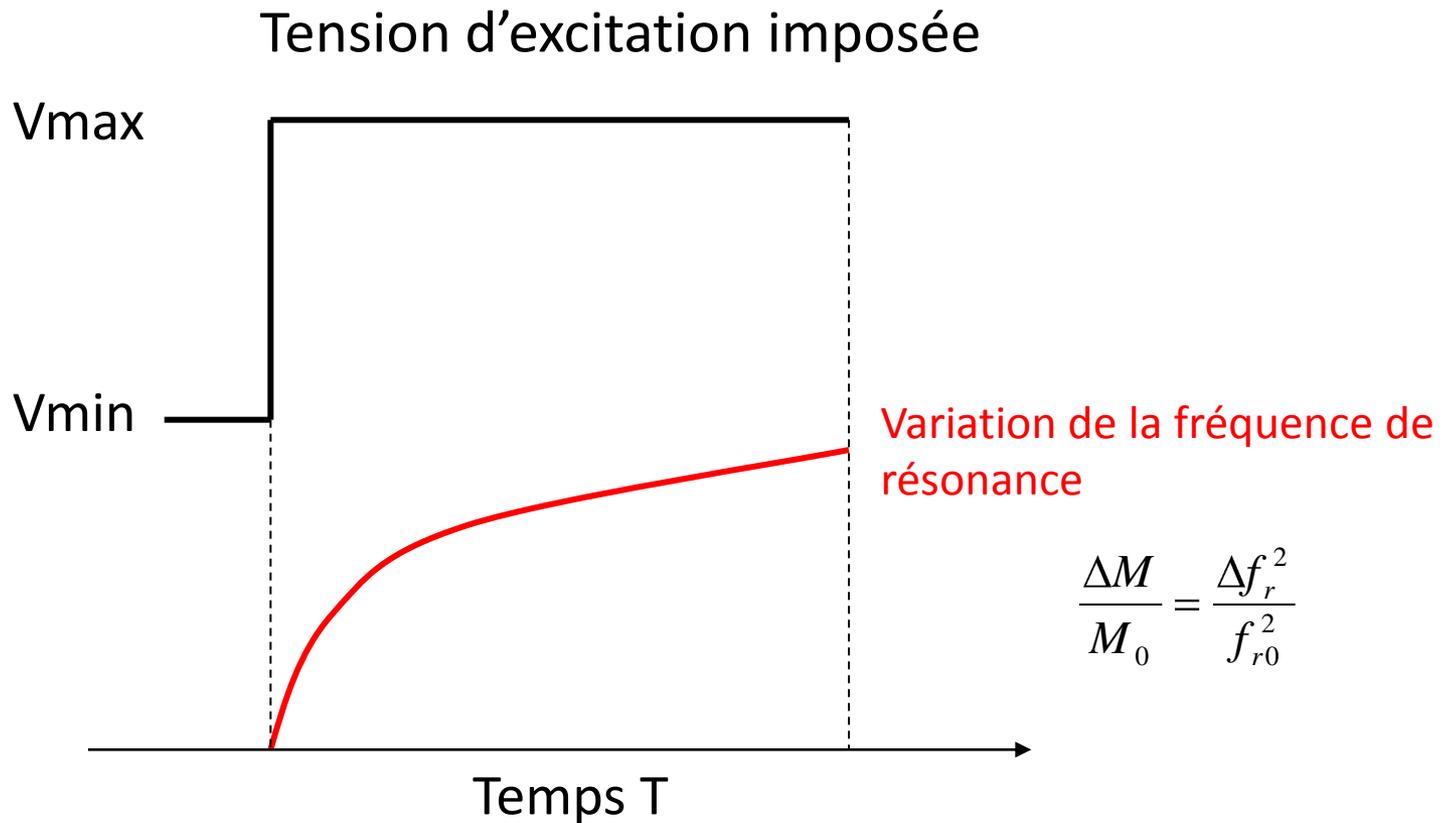
Fissure sans gel

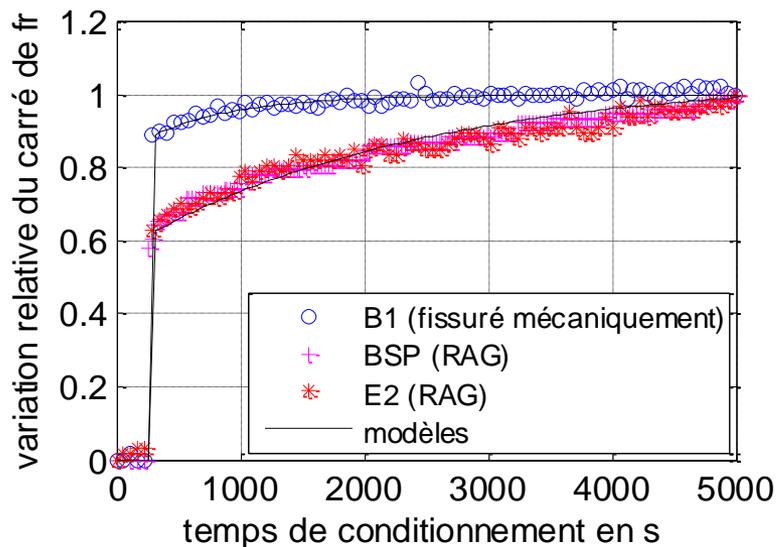
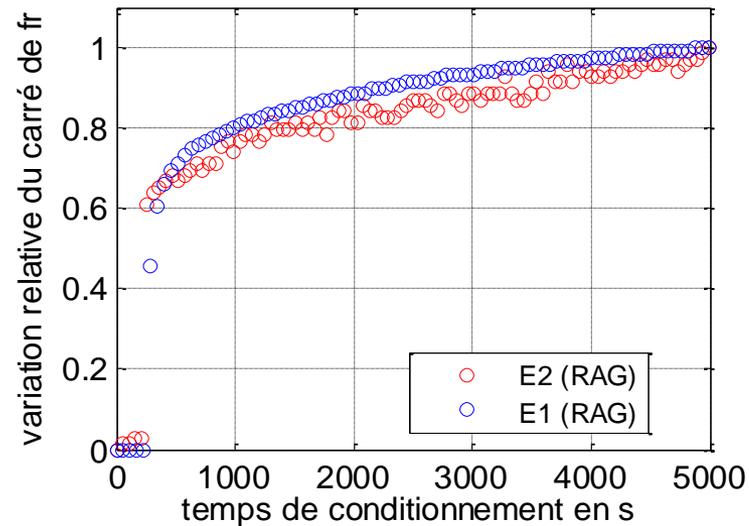
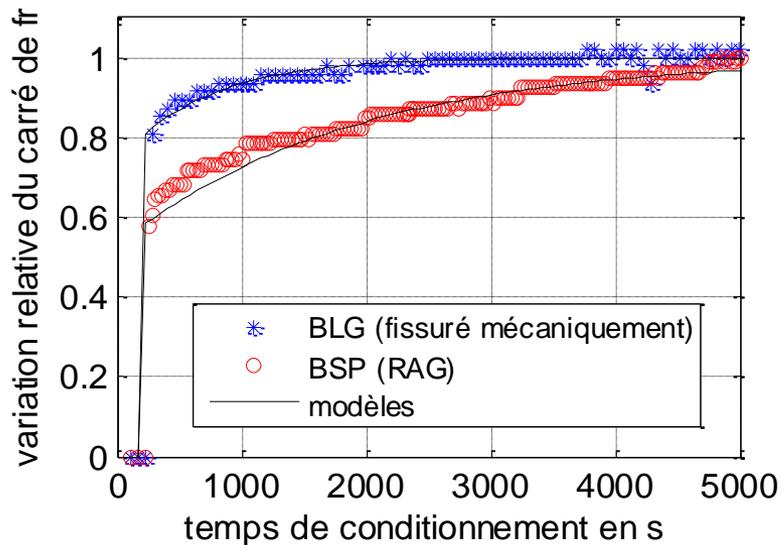
Fissure avec gel  
(produit de réaction)

Fluage des matériaux

# Essais en laboratoire

## Méthode de dynamique lente





Endommagés par la RAG			Endommagé mécaniquement	
BSP	E2	E1	B1	BLG
1400 s	1400 s	1000 s	250 s	400 s

Le gel produit par la RAS rallonge le temps de réponse

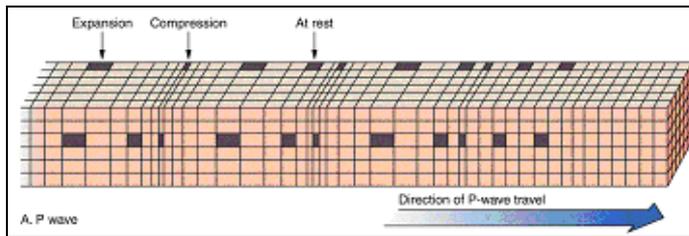
# Essais en laboratoire

## CONCLUSION: Distinction entre RAG et autre endommagement

- La méthode de dynamique lente semble prometteuse en laboratoire
- Potentiel d'application sur le terrain relativement faible

# Essais in situ: Méthodes ND

## VITESSE D'IMPULSION ULTRASONORE (UPV)



Consistent à envoyer des ondes ultrasonores  $P$  et à enregistrer le signal d'arrivée.

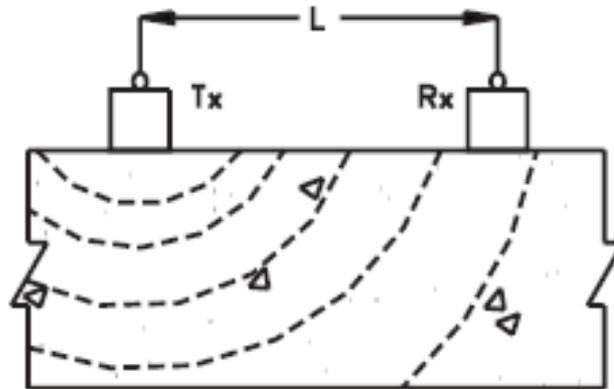
**+ : Rapide, appareillage léger, facile à utiliser, mesure directe, méthode bien connue.**

**-: Évaluation globale, plus ou moins sensible à RAS, besoin de la vitesse initiale.**

# Essais in situ: Méthodes ND

## VITESSE D'IMPULSION ULTRASONORE (UPV)

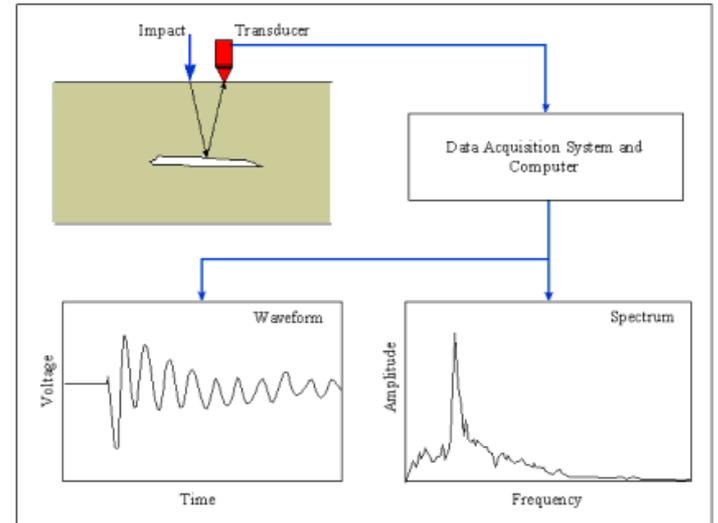
### CONFIGURATION TRANSMISSION INDIRECTE (ACCÈS À UNE SEULE SURFACE)



INDIRECT OR SURFACE TRANSMISSION

# Essais in situ: Méthodes ND

## IMPACT ÉCHO

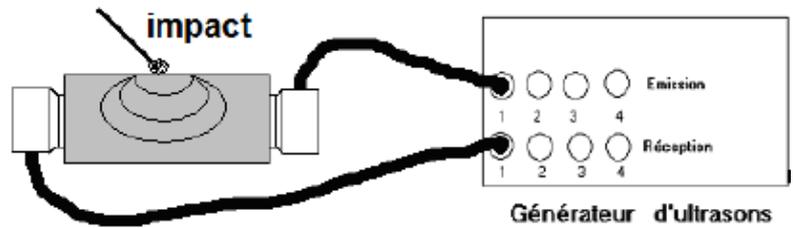


→ Fréquence de résonance

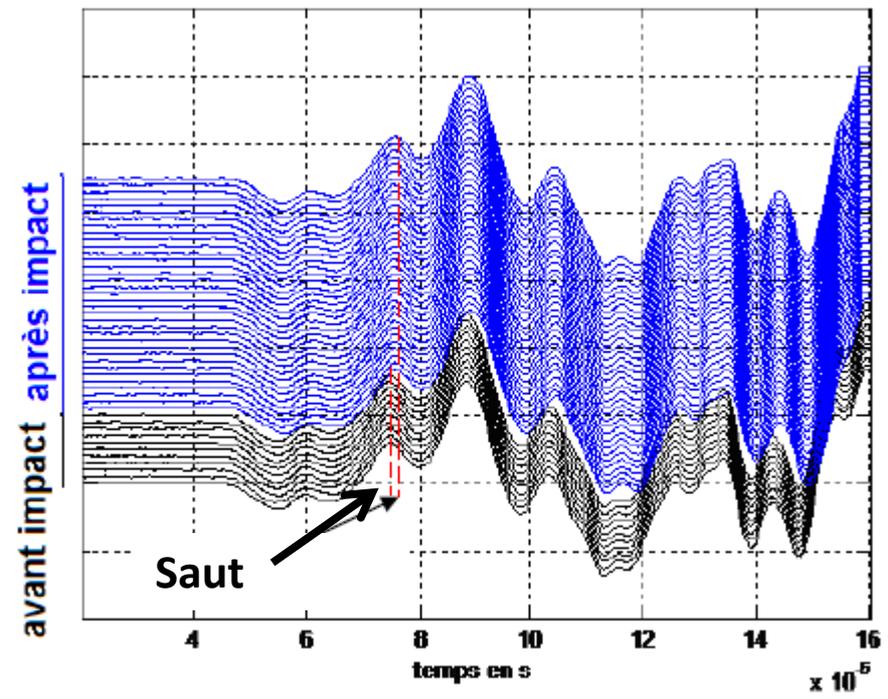
→ Vitesse indirecte

# Essais in situ: Méthodes ND

## SAUT TEMPOREL

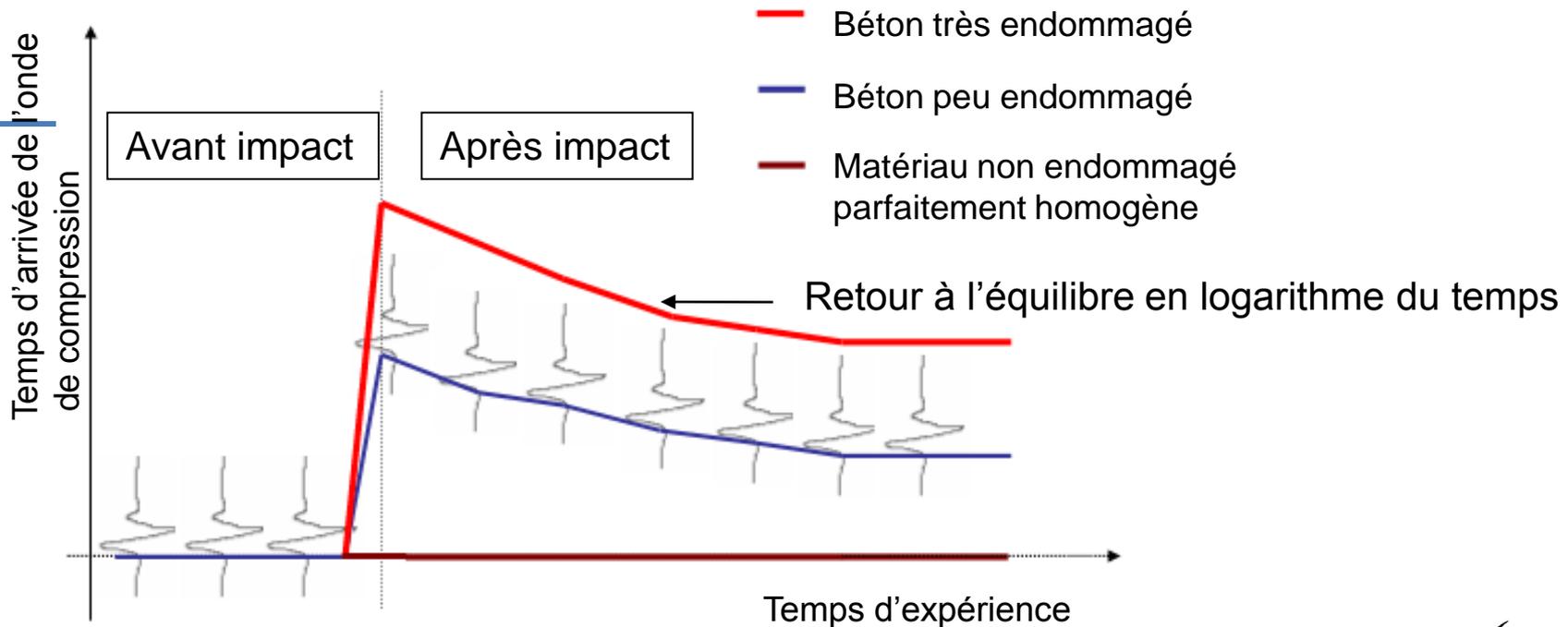


→ Saut temporel



# Essais in situ: Méthodes ND

## SAUT TEMPOREL

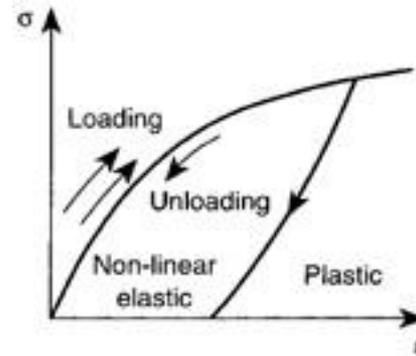


Décalage temporel dû à l'impact

$$\tau_V = 100 \times \left( \frac{V_0}{V} - 1 \right)$$

# Essais in situ: Méthodes ND

- Microfissures →  
Comportement non linéaire



- Vibration de basse fréquence et haute amplitude  
→ Ouverture des fissures
  - Ouverture des fissures → Modification du parcours d'une onde traversant le matériau
  - Le délai enregistré peut quantifier l'endommagement.
-

# Essais in situ: Méthodes ND

## INDICE DE D'ENDOMMAGEMENT DE SURFACE

### Méthode rapide de corrélation



**Densité : I+**

**ouverture : I**

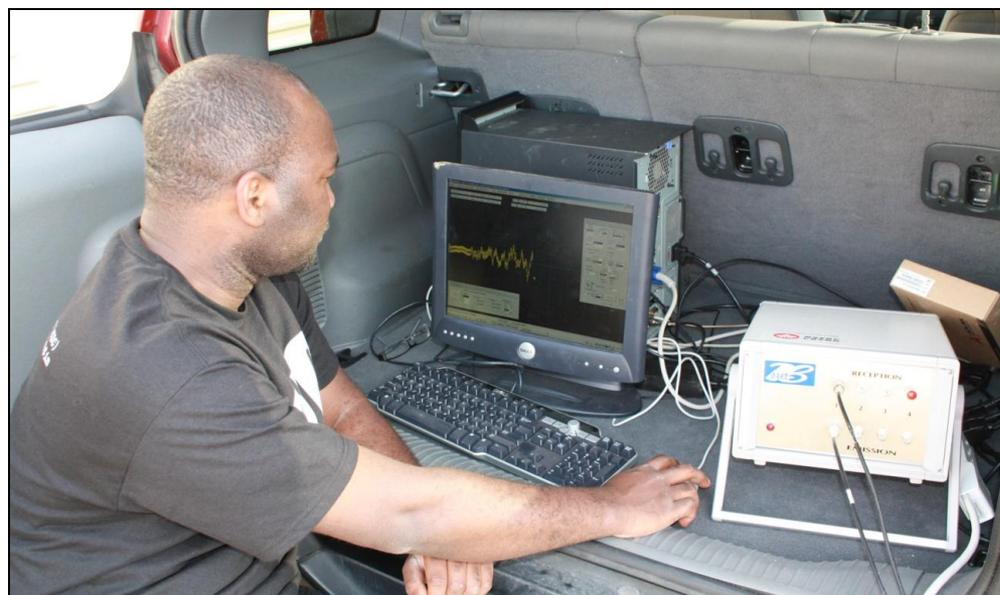
**Cote :  $90+80=170$**

**Indice: 85**

# Essais in situ: sites

Site University of Texas (Austin)

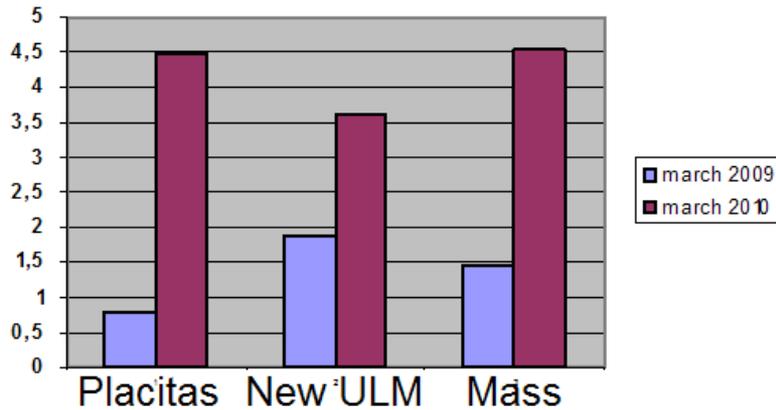




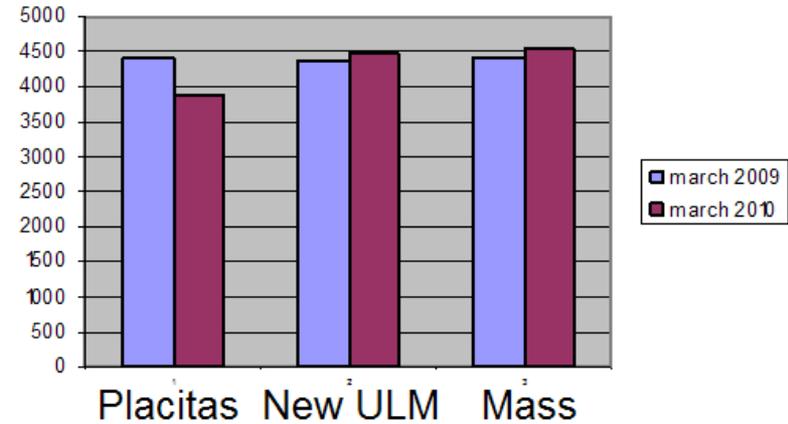
***Essais saut temporel***

# Résultats Texas

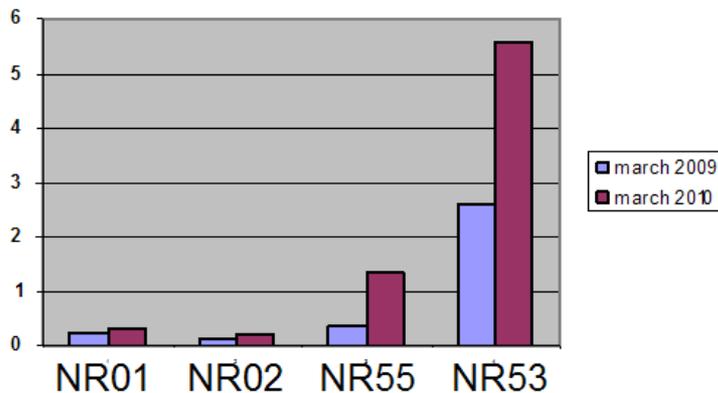
Travel time Jump (NL parameter ST)



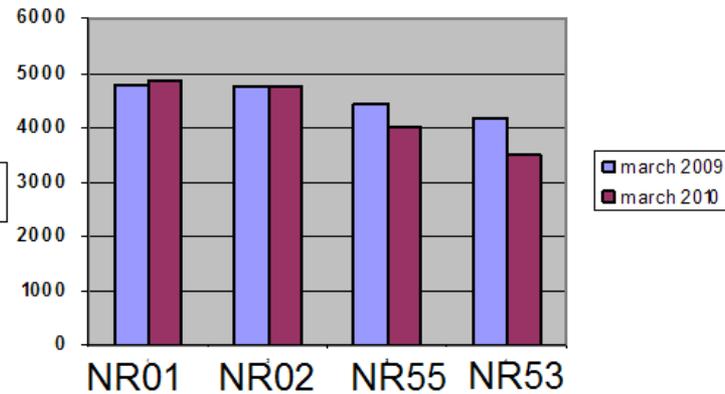
P Velocity (m/s) (L parameter)



NL parameter ST



Velocity (m/s)



# Essais sur le terrain: sites

## STRUCTURES AUSCULTÉES

- 3 murs de soutènement
- 6 colonnes
- 2 piles



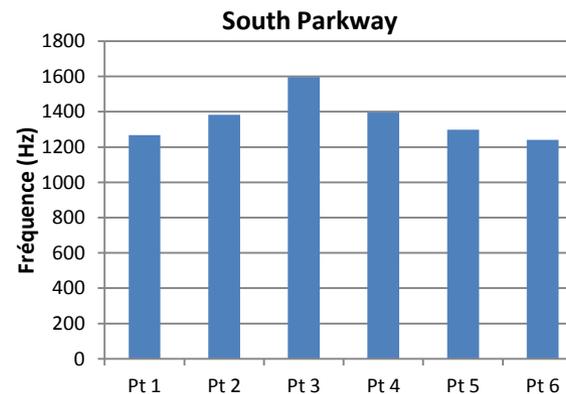
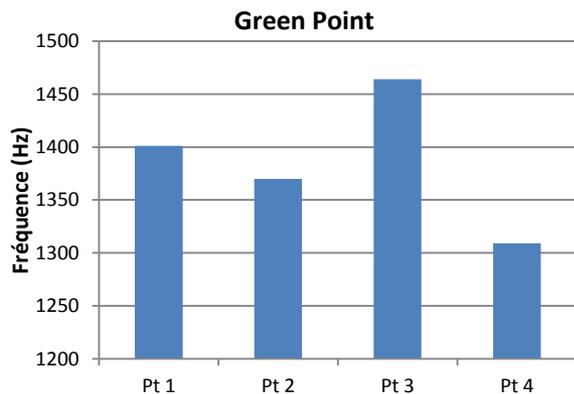
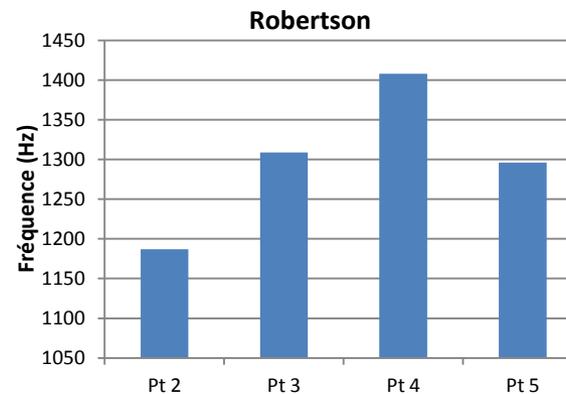
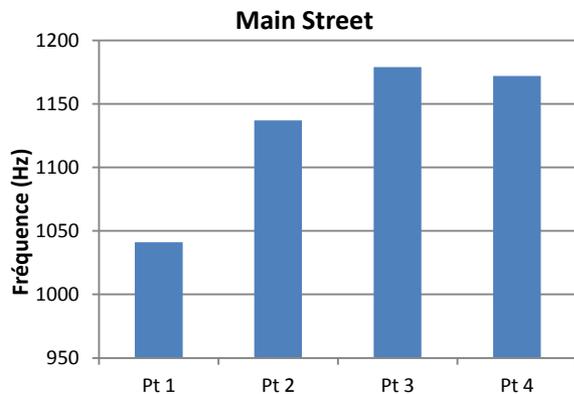
# Essais sur le terrain: sites

FR

VI

VD

ST



# Résultats et discussions

- Vitesse indirecte

FR

VI

VD

ST

$$f = \frac{\beta C_p}{2A}$$

Vitesse de propagation (m/s)	Résistance à la compression (MPa)	Classification du béton
V > 4575	$\sigma > 28$	Excellent
4575 > V > 3660	28 > $\sigma$ > 20	Bon
3660 > V > 3050	$\sigma < 20$	Passable
3050 > V > 2135		Mauvais
V < 2135		Très mauvais

*(Solis-Carcano, 2008)*

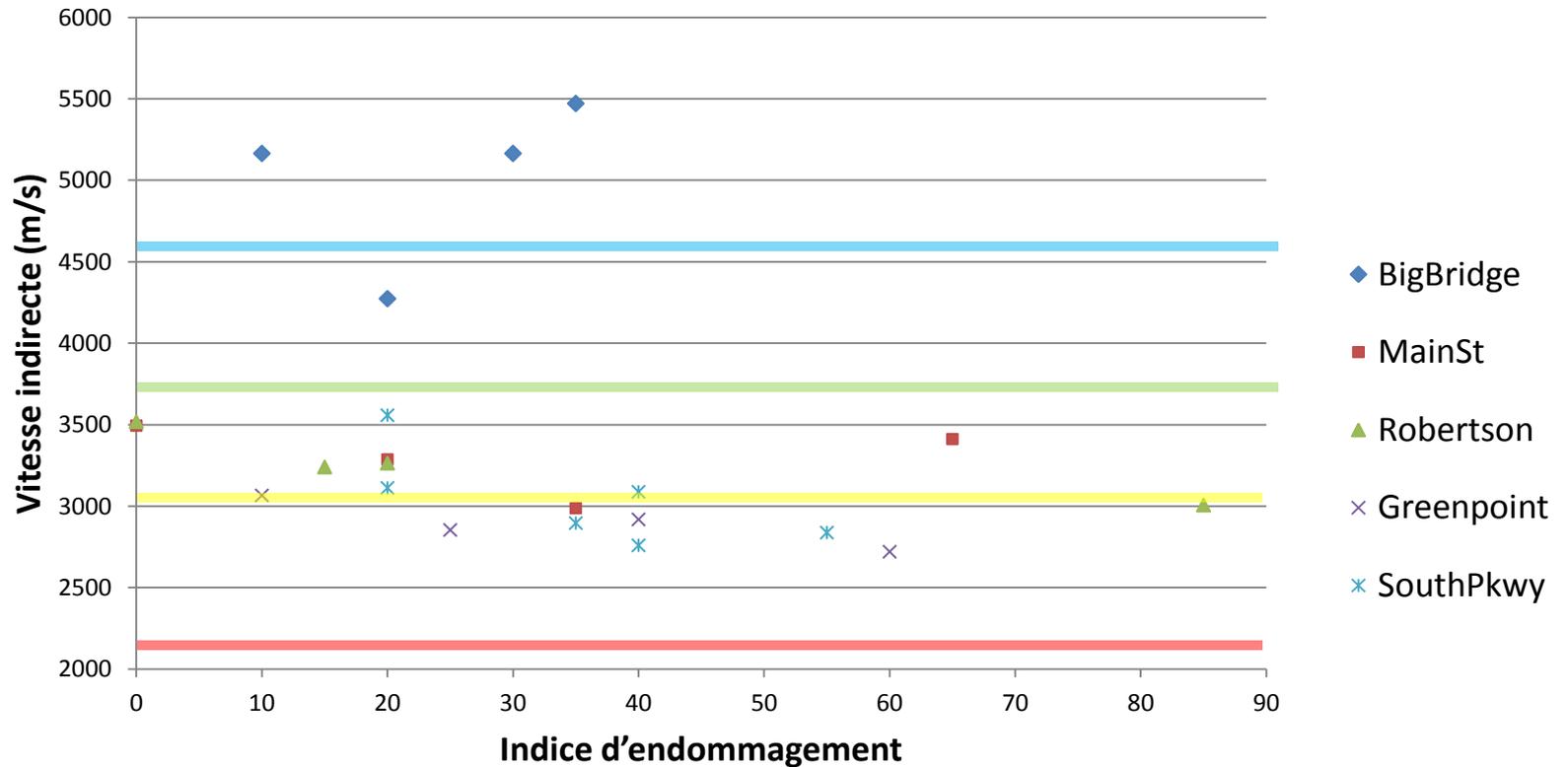
# Résultats et discussions

FR

VI

VD

ST



# Conclusions partielles

- Fréquence de résonance
  - Caractérisation à l'échelle macroscopique
- Vitesse indirecte
  - La relation indice d'endommagement et vitesse indirecte n'est pas évidente

FR

VI

VD

ST

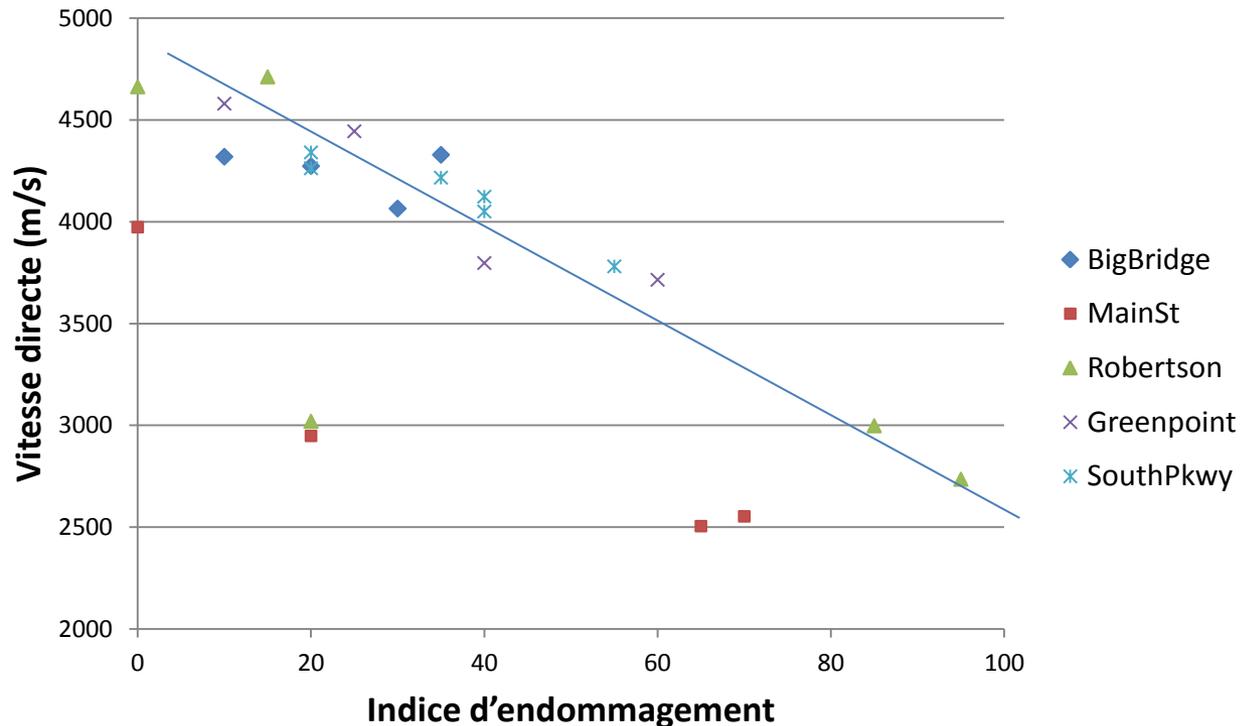
En **impact-écho**, la propagation de l'onde se fait parallèlement aux fissures visibles en surface. L'indice d'endommagement n'est donc pas intéressant pour la validation. **L'effet de la géométrie de la structure et de l'orientation des fissures sur le signal capté doit être étudié plus en profondeur.**

---

# Résultats et discussions

- Vitesse directe

$$v = d/t$$



FR

VI

VD

ST

# Conclusions partielles

- Vitesse directe

FR

- Très bonne corrélation avec l'endommagement de surface

VI

VD

- Besoin de plus de données pour une courbe indice de dégradation/vitesse directe

ST

---

# Résultats et discussions

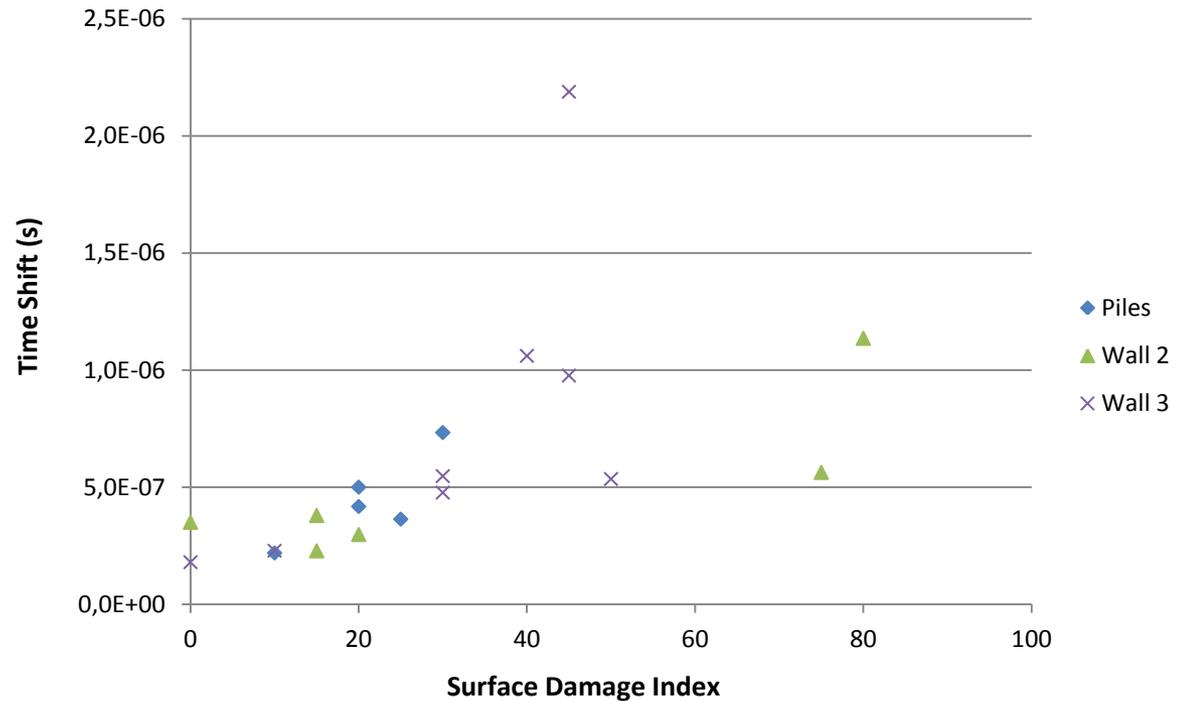
- Saut temporel

FR

VI

VD

ST



# Conclusions partielles

- Saut temporel
  - Semble bien corrélérer un endommagement moins élevé;
  - Les fissures ouvertes ne modifient pas le comportement non linéaire du béton.

FR

VI

VD

ST

# Conclusions

- Chaque technique observe une orientation de fissuration différente;
- Chaque paramètre a une sensibilité différente selon le degré d'endommagement de la structure;
- La combinaison des différentes techniques et paramètres permet d'évaluer l'ensemble de la structure.

# Conclusions

- En laboratoire, nous avons réussi à différencier la RAS de l'endommagement mécanique
- Un protocole pour l'application sur site est actuellement examiné.
- Les méthodes ND ne peuvent elles-mêmes tout résoudre. Elles représentent un complément fort intéressant aux techniques de caractérisation classiques.

# Remerciements

Le financement a été assuré par le CRIB et le  
FHWA.

Merci au DOT du Maine ainsi qu'aux équipes de  
l'Université du Texas et Laval pour leur aide  
sur le terrain.

