



# Évaluation de la durabilité et la performance de l'enrobé de base avant et après les cycles de gel-dégel

Saeed Badeli, Ph.D.

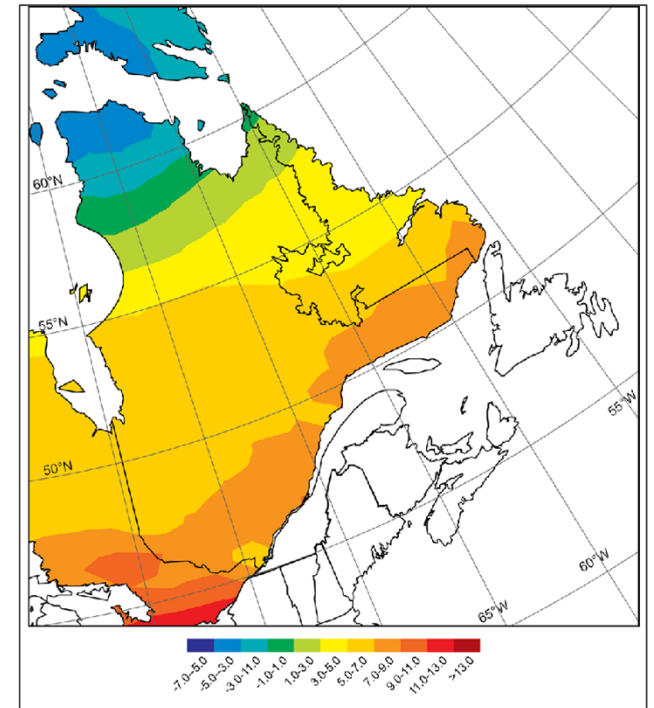
Nov. 2020  
Montreal

  
Le génie pour l'industrie



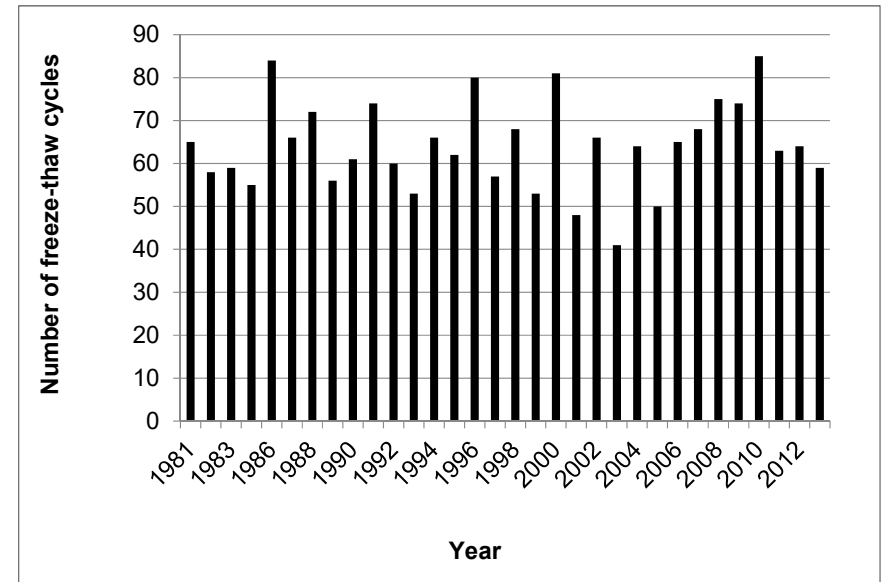
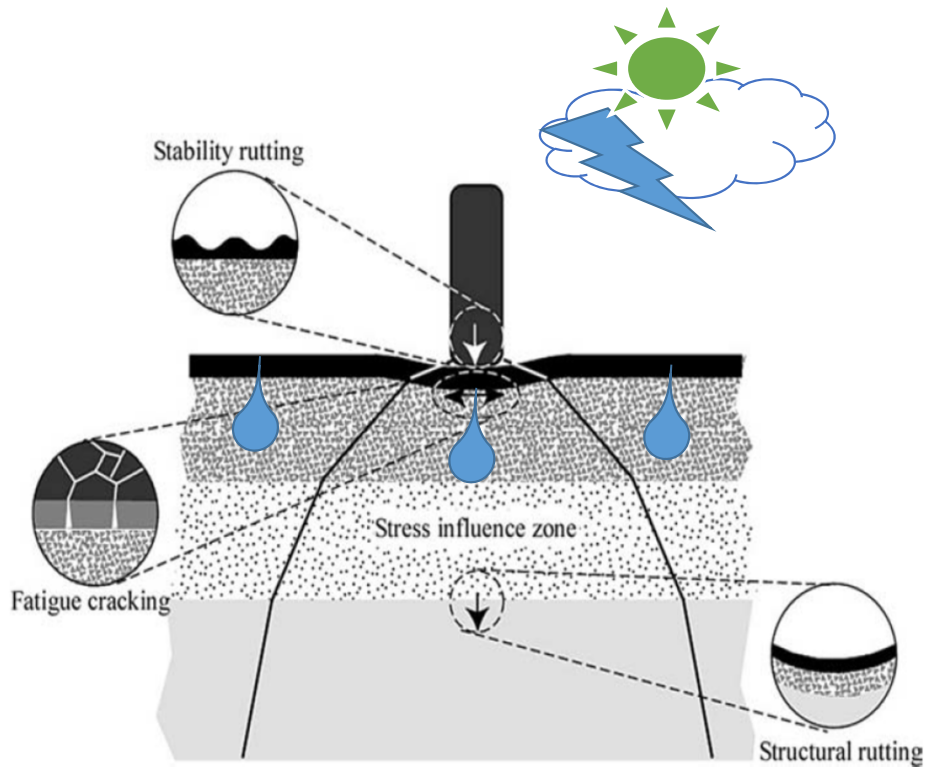
## Déclaration du problème

- La température mondiale va augmenter.
- Les structures gèleraient plus tard et dégèleraient plus tôt.
- La provocation de la fréquence élevée des cycles de G-D.



Augmentation du risque de dommages majeurs

# La condition climatique du Québec

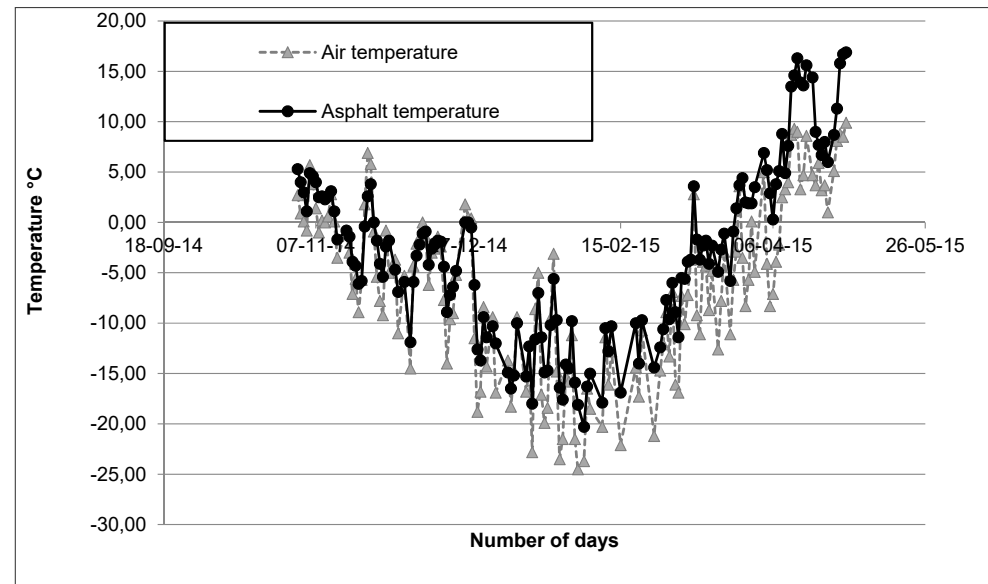
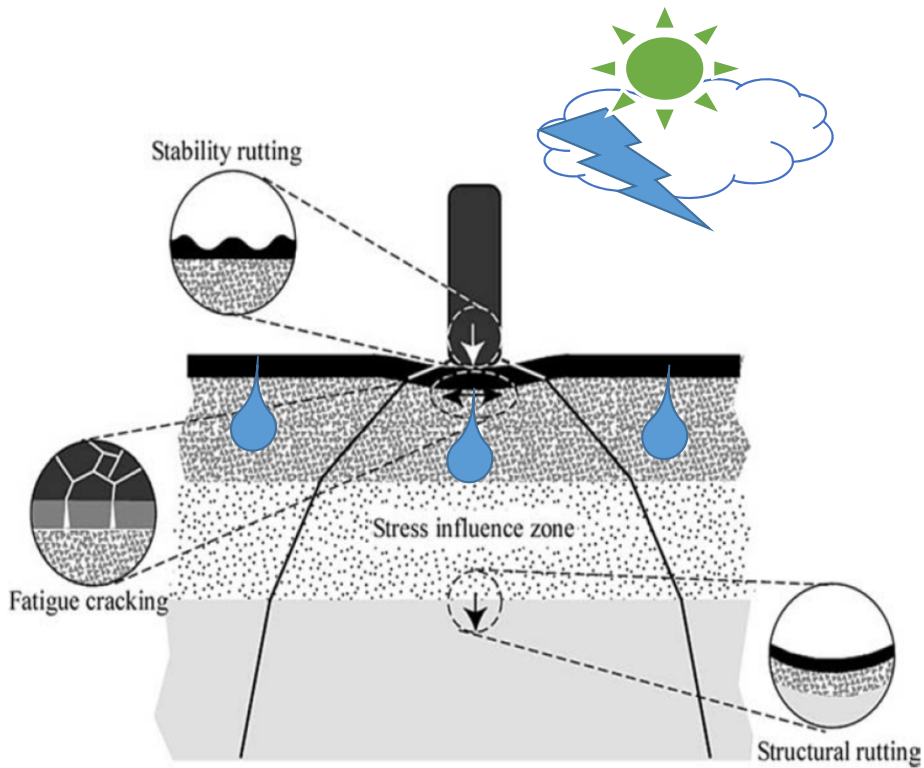


Le nombre journalier de cycles de gel-dégel pour chaque année de 1981 à 2013 à l'autoroute Félix-Leclerc, section 89-A310

Source: LTPP, <https://infopave.fhwa.dot.gov/>

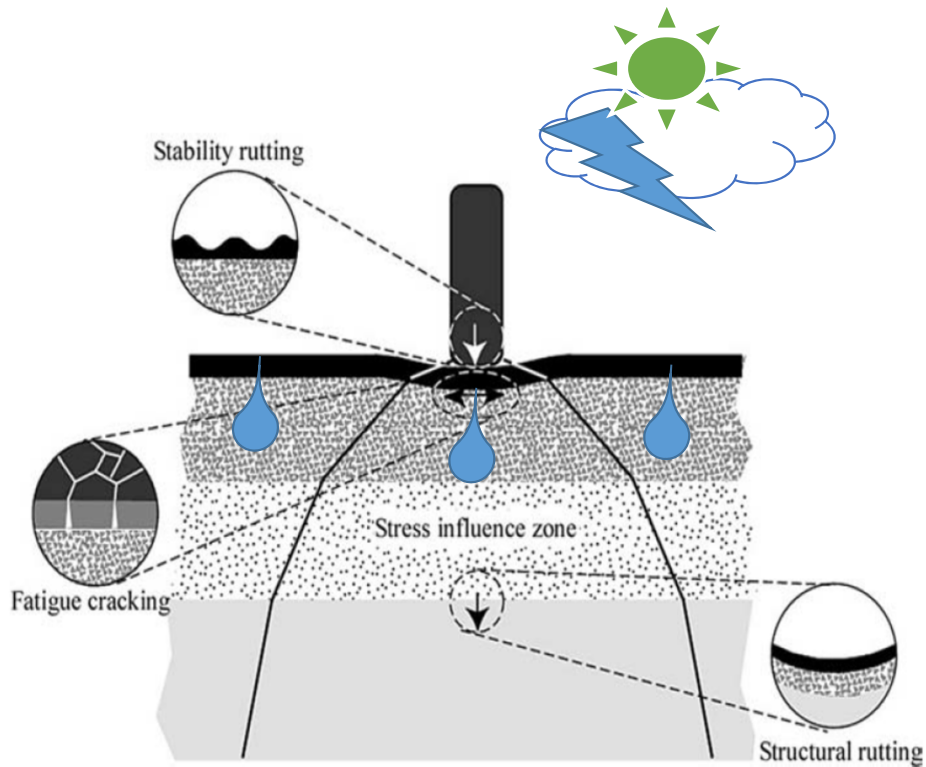
Badeli, Carter, & Doré (2018).

# La condition climatique du Québec



Historique des températures journalières des Trois Rivières, route 155, au Québec du 1er octobre 2014 au 1er mai 2015  
Source: i3C, MTQ

## La condition climatique du Québec



### **Au début du printemps :**

- Perte de la capacité de charge,
- Déformation élevée en raison de l'altération thermique,
- Les cycles rapides journaliers de gel-dégel,
- Une forte teneur en eau...

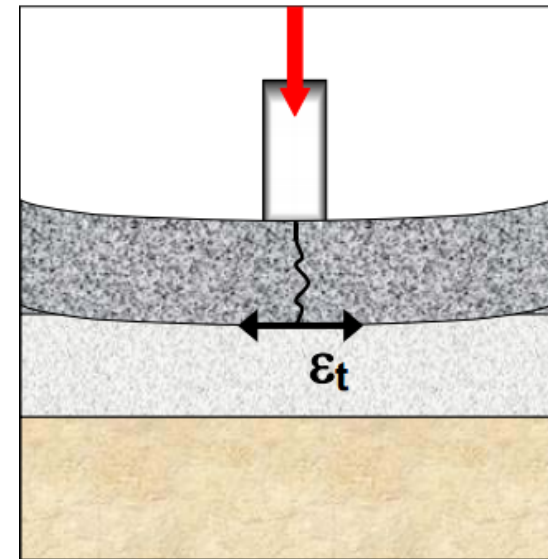
# Les dommages de fatigue & méthodes de dimensionnement des chaussées

Le nouveau MEPDG et le modèle Performance :

$$N_f = Ck_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{k_2} \left( \frac{1}{E} \right)^{k_3}$$
$$= \beta_{f1} k_1 (\varepsilon_t)^{-\beta_{f2} k_2} (E)^{-\beta_{f3} k_3}$$

where:

- $N_f$  = number of repetitions to fatigue cracking.
- $\varepsilon_t$  = tensile strain at the critical location.
- $E$  = stiffness of the material.
- $k_1, k_2, k_3$  = laboratory regression coefficients.
- $\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$  = calibration parameters.
- $C$  = laboratory to field adjustment factor.



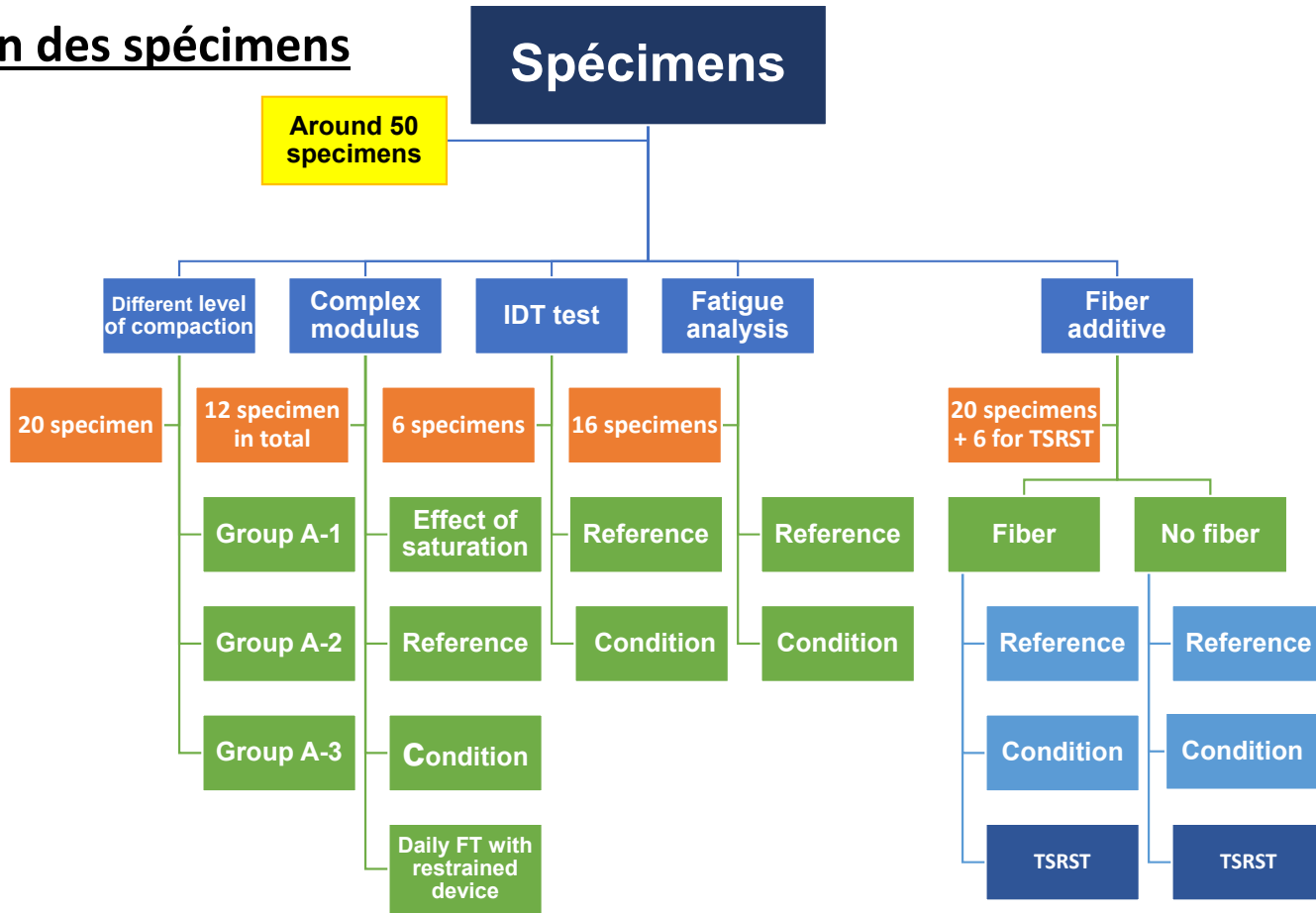
Ce qui se passe dans la réalité:

Trafic + Variations thermiques + L'eau = Les détériorations préliminaires

## Les objectifs :

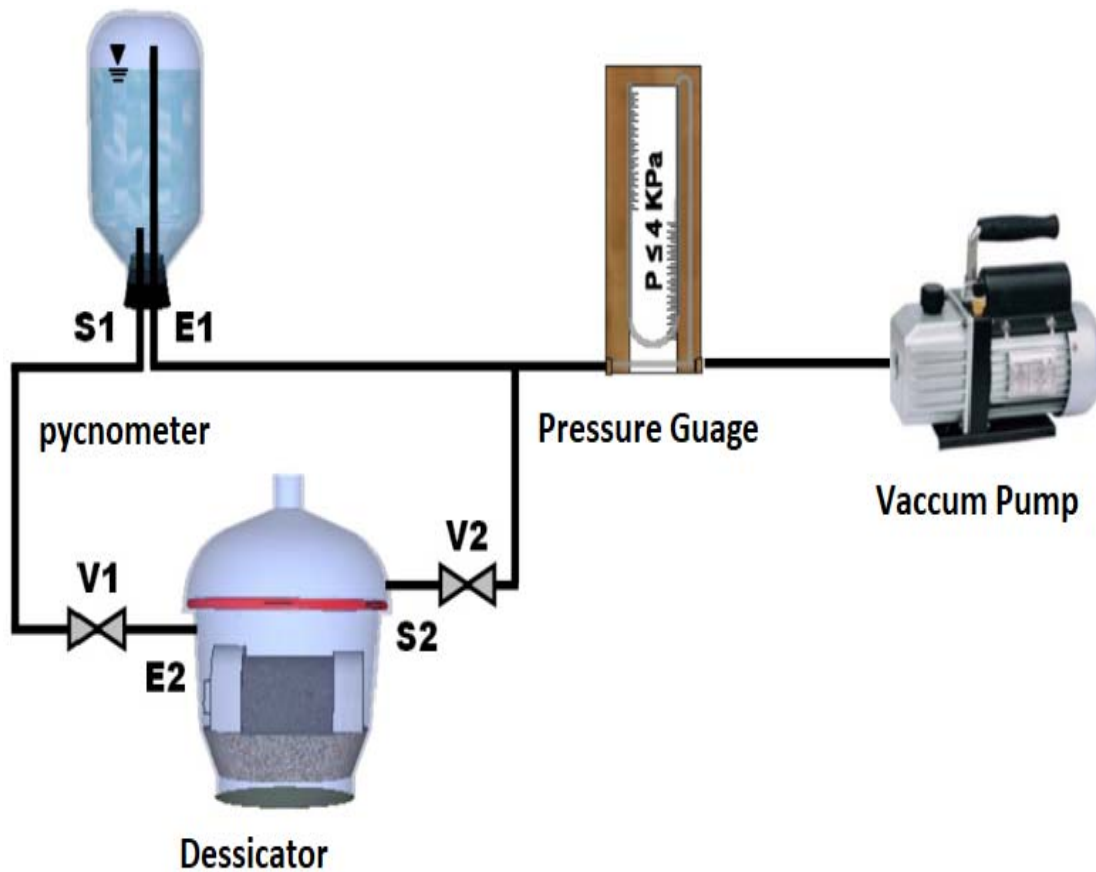
- Performance et durabilité de l'enrobé de base avant et après les cycles GD.
  - Analyser de module complexe avant et après les cycles de GD.
  - Analyser de la résistance à la fatigue avant et après les cycles de GD.
  - Modification du modèle de prédiction de fatigue et de module complexe.
  - Modification de la formulation du mélange.

# Préparation des spécimens



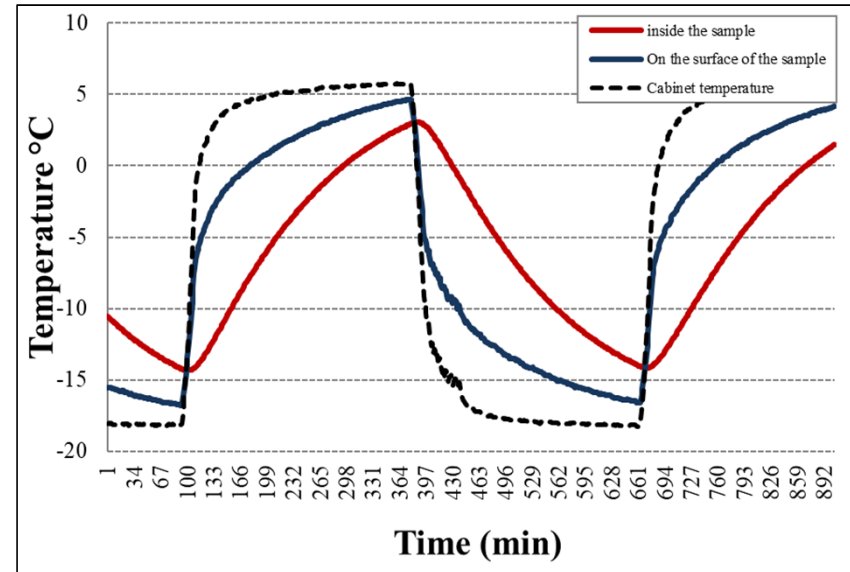
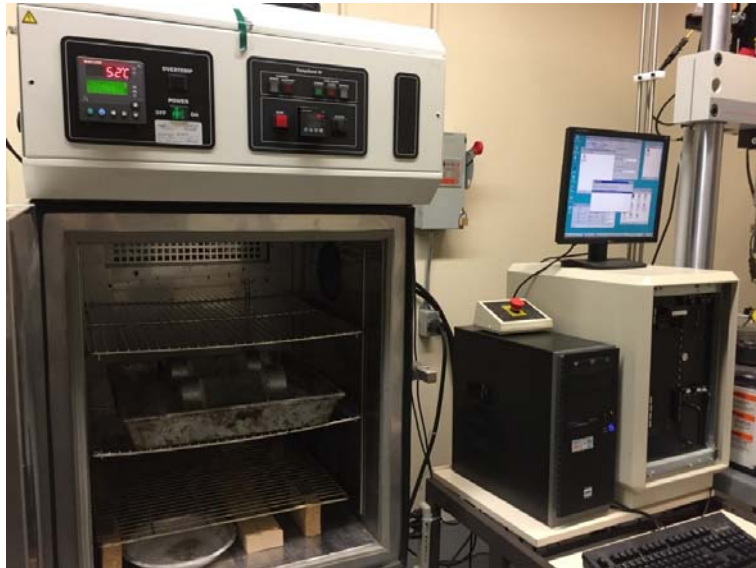


# Conditions d'humidité



- La norme: LC 26-001.
- La pression a été maintenue  $\leq 4 \text{ kPa}$ .
- Submergée dans l'eau pendant 5 min.
- Saturation  $\leq 70\%$ .

## Méthodes expérimentales pour les cycles GD



Les spécimens ont été soumis à 300 cycles GD.

La norme: ASTM C-666.92.

## Méthodes expérimentales pour les cycles GD



Les spécimens ont été soumis à 300 cycles GD.

La norme: ASTM C-666.92.

## La pré-validation de la méthode de l'essai

- Les cycles GD : 8 cycles / jour.
- en réalité nous avons au maximum 1 cycle GD / jour.
- Nous n'avons pas restreint les spécimens pour le GD.

Condition	V <sub>a</sub> %	E <sub>00</sub> (MPa)	E <sub>0</sub> (MPa)	k	h	d	t <sub>E</sub> (s)
R-FT	7.0	12	33,000	0.17	0.52	2.20	0.006
Daily with restrain	7.0	13	32,000	0.19	0.54	2.20	0.006



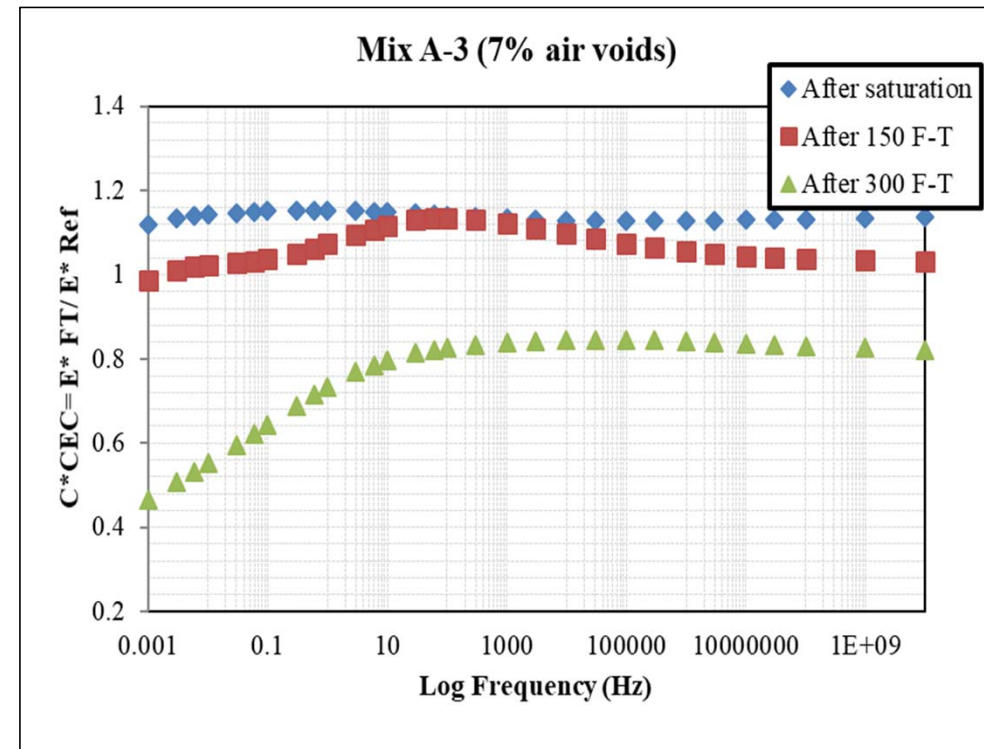
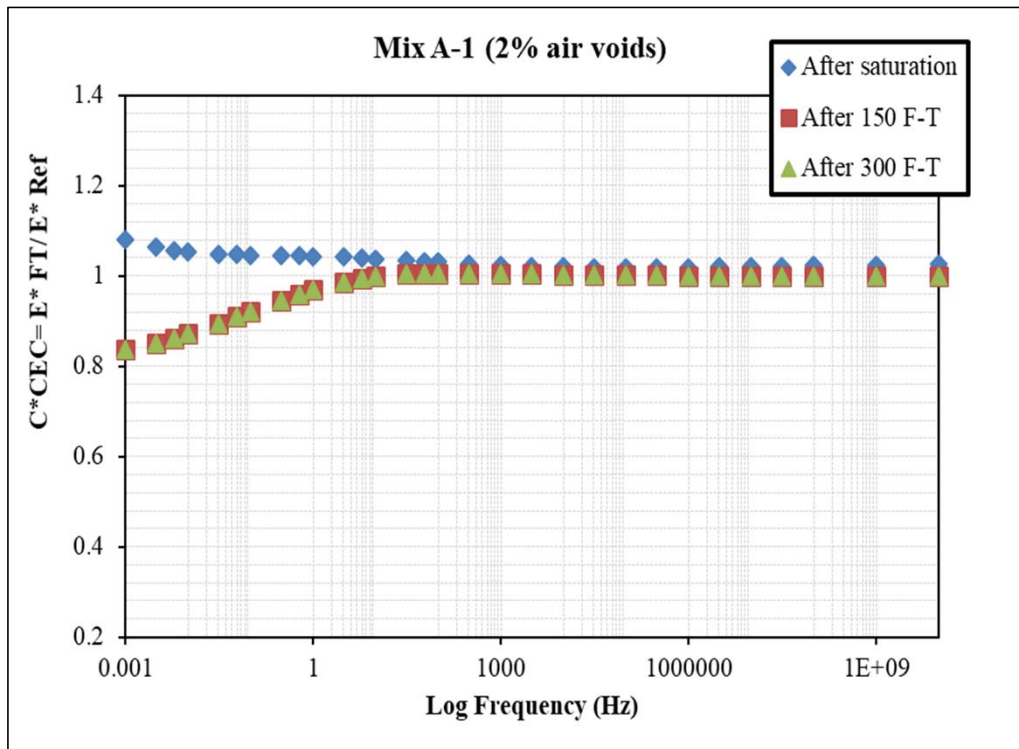
300 GD Rapide correspond à 50 GD Normale / jour.

# Les résultats

% élevé de vides par rapport aux % faibles

Le mécanisme de saturation n'a pas créé de dommages,

300 cycles FT change la caractéristique de rigidité.



Badeli, Carter, & Doré (2018)  
Cold Regions Science and Technology

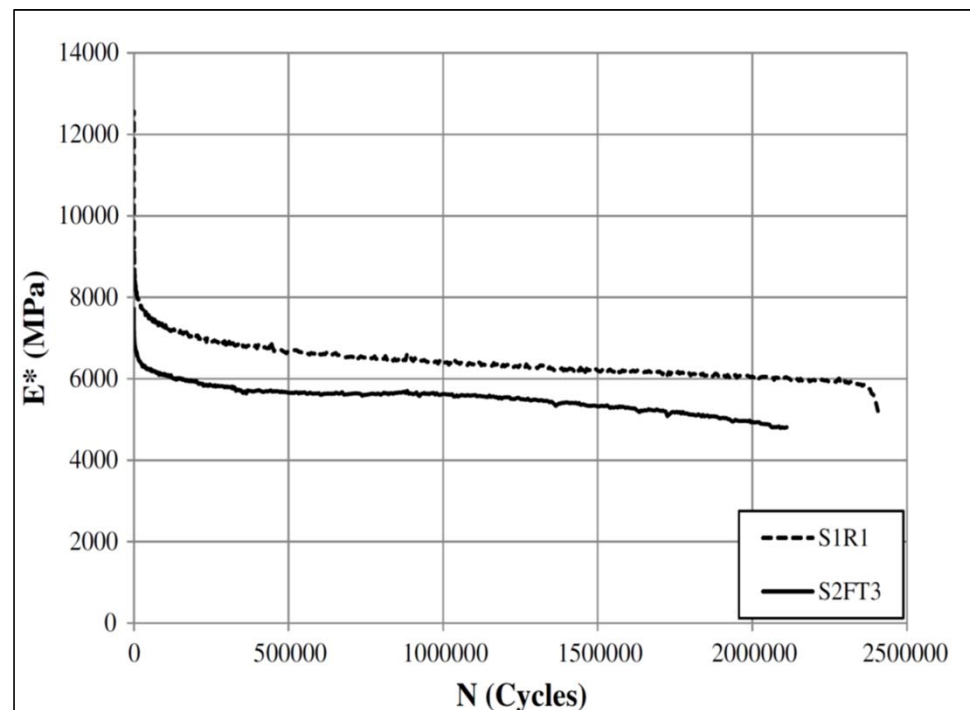
## Essai de fatigue :

Fréquence de 10 Hz et conditions de température de 10°C.

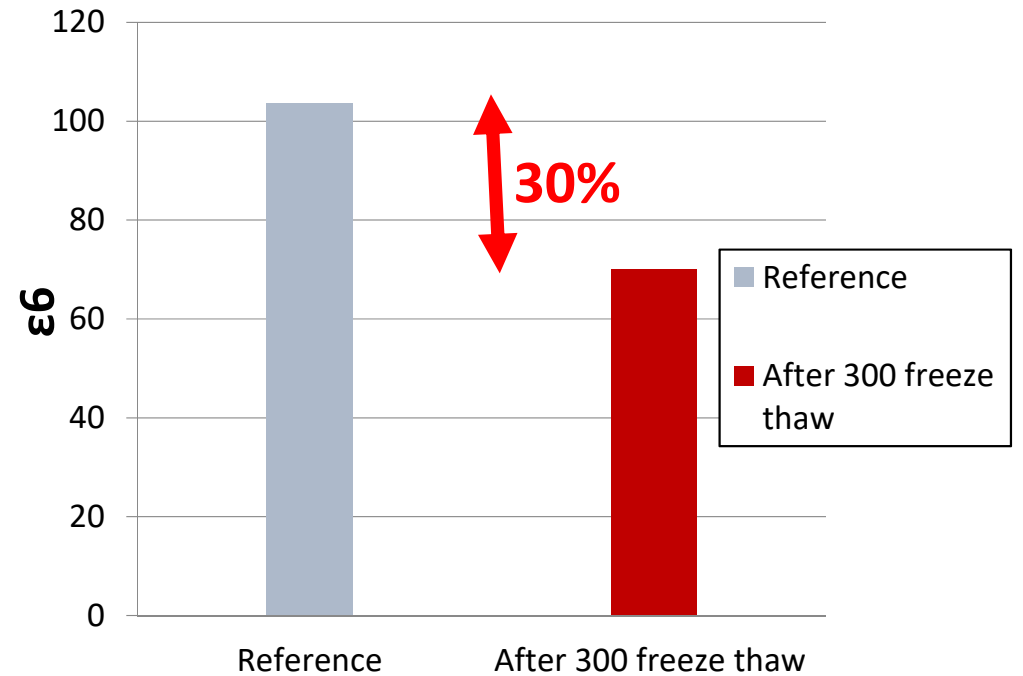
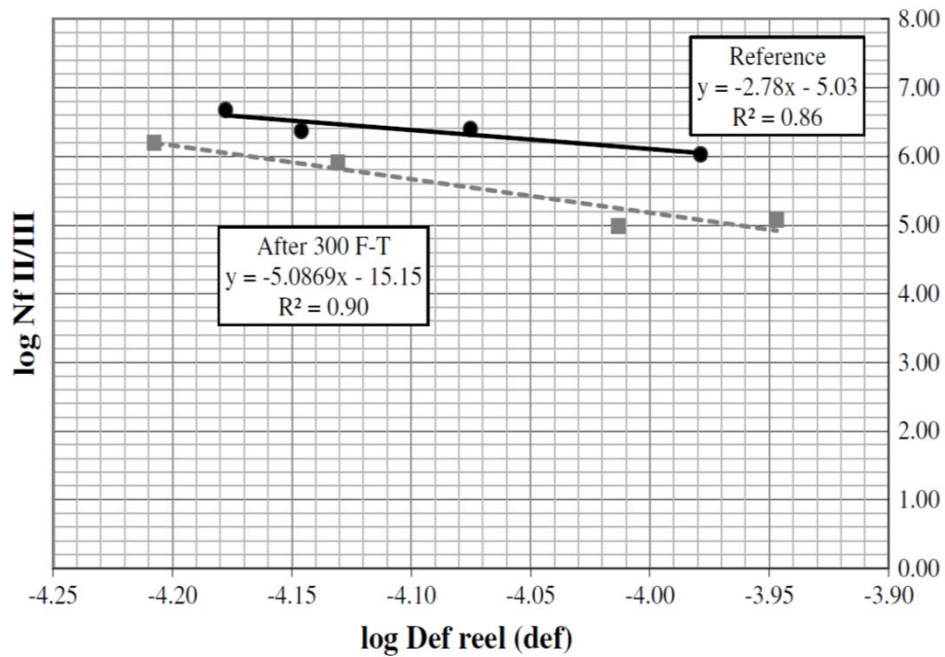
La courbe de Wöhler a été établie à la fin.

$\epsilon_6$  : amplitude de la déformation pour laquelle la rupture se fait après 1 million de cycles.

$$\frac{Nf}{10^6} = \frac{\epsilon}{\epsilon_6}^{-C2}$$



# Résultats de fatigue



Fatigue for the mix with 7% voids.

## Modèle de prédiction du module dynamique dans MEPDG

Witczak predictive formula for asphalt mixes

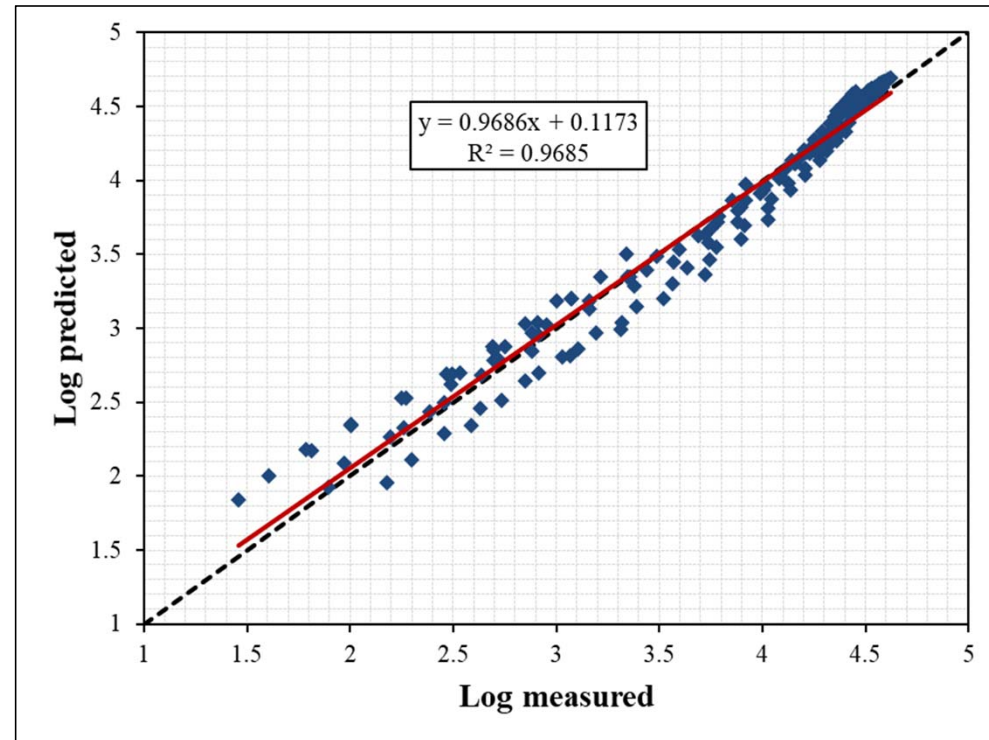
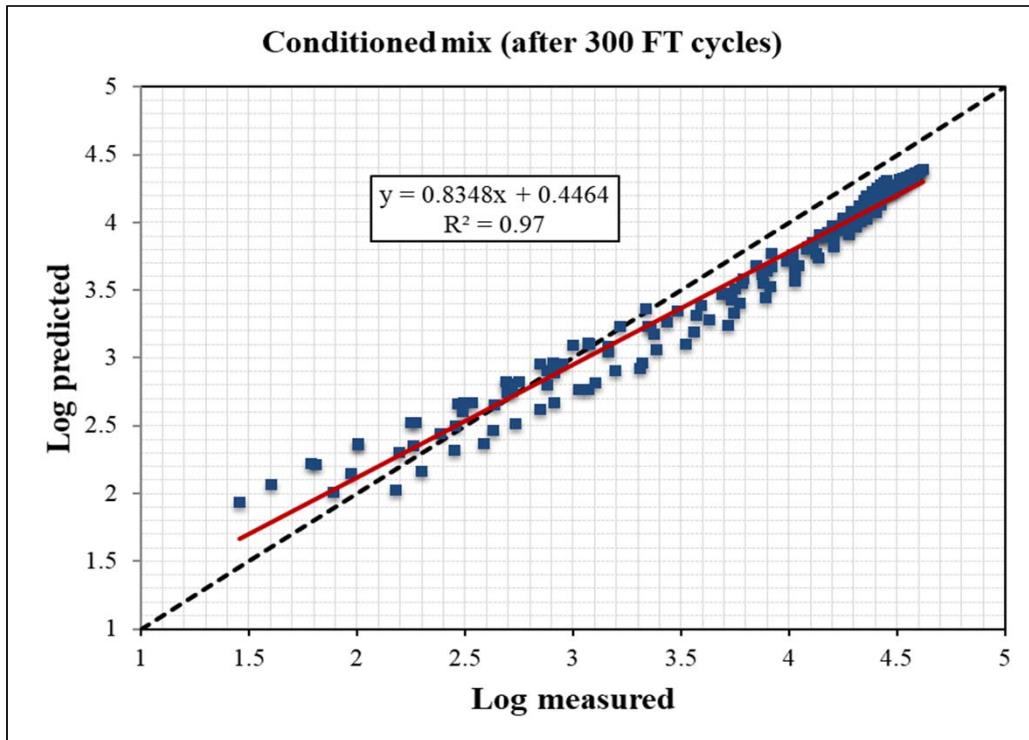
Level 3 - NCHRP 1-37A

$$\begin{aligned} \text{Log}|E^*| &= -1.249937 + 0.029232.P_{200} - 0.001767(P_{200})^2 - 0.002841.P_4 - 0.058097.V_a \\ &- 0.802208 \frac{V_{be}}{V_{be} + V_a} + \frac{3.871977 - 0.0021.P_4 + 0.003958.P_{38} - 0.000017P_{38}^2 + 0.005470.P_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.313351 \log f - 0.393532 \log \eta)}} \end{aligned}$$

- $|E^*|$  = dynamic modulus ( $10^5$  psi);
- $\eta$  = viscosity of the binder ( $10^6$  poise);
- $f$  = frequency (Hz);
- $V_a$  = air voids in the mix (% by volume);
- $V_{be}$  = effective binder content (% by volume);
- $P_{200}$  = % passing no. 200 sieve;
- $P_4$  is the cumulative % retained on no. 4 sieve;
- $P_{38}$  is the cumulative % retained on 3/8 inch sieve; and
- $P_{34}$  is the cumulative % retained on 3/4 inch sieve.

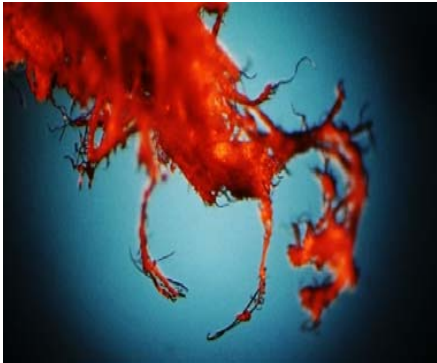


## Modification on prediction model

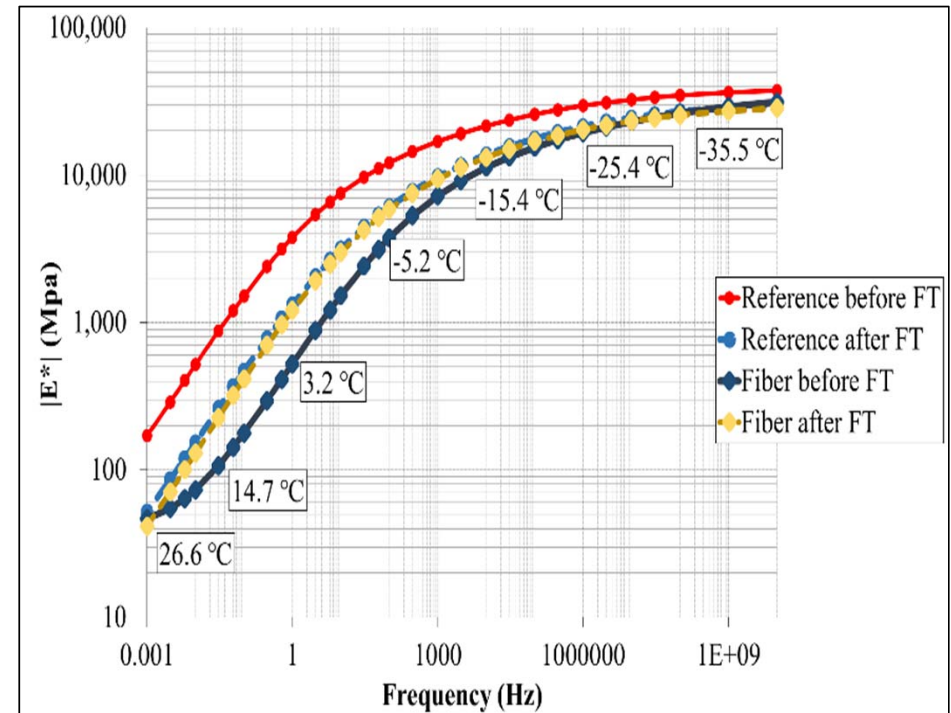


$$E^*_{Corrected} = 1.1603 E^*_{Witczak} - 0.4007$$

## Amélioration de la formulation des mélanges en utilisant des fibres aramides



Des racines dans le liant & plus de création de liens avec des matériaux granulaires = augmenter l'adhérence et la cohésion ?!



- Le mélange de la fibre de pulpe d'aramide est moins sensible aux cycles du GD.

## Superviseurs :

Alan Carter

Guy Doré

## Partenaires :







Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
charges lourdes-climat-chaussées

Merci !

Questions ?

Partenaires

