



# ***Utilisation du verre recyclé dans les enrobés bitumineux***

Présenté par :

**Éric LACHANCE-TREMBLAY, ing.jr., M.Sc.A., doctorant ÉTS**

**Formation technique annuelle, Québec**

**29 novembre 2017**

## Plan de la présentation

- La recherche au LCMB;
- Mise en contexte : problématique du recyclage du verre au Québec;
- L'incorporation de granulats de verre recyclé dans les chaussées au LCMB;
- Projets pilotes réalisés;
- Formulation des enrobés avec granulats de verre;
- Projet pilote en milieu municipal à venir;
- Perspectives.

## La recherche au LCMB de l'ÉTS

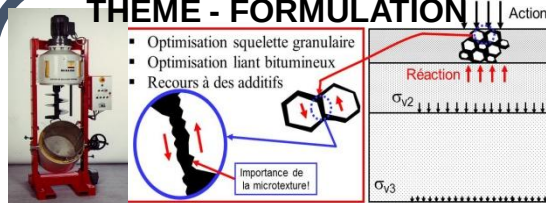


# La recherche au LCMB

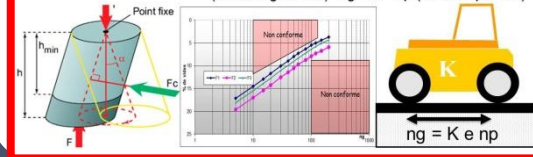


**OBJECTIF GÉNÉRAL:**  
Améliorer la durabilité  
et les performances à  
l'échelle du matériau en  
validant l'impact à  
l'échelle de la chaussée

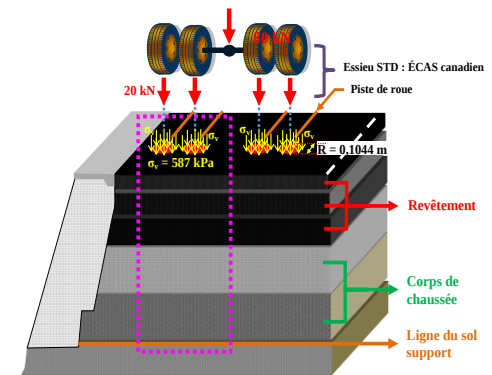
## THÈME - FORMULATION



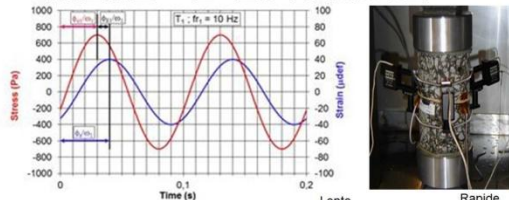
Essai PCG : Presse à cisaillement giratoire (nbre de rotations)  $ng$  vs  $np$  (nbre de passes)



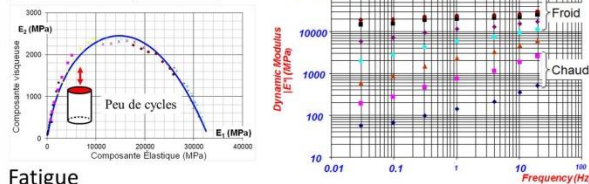
## THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES SOUPLES



## THÈME – E\* ET FATIGUE

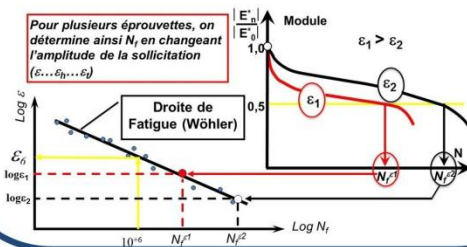


Module complexe:  $E^*$



Fatigue

Pour plusieurs éprouvettes, on détermine ainsi  $N_f$  en changeant l'amplitude de la sollicitation ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ )



## THÈME – MATÉRIAUX RECYCLÉS



EE



et Matériaux Bitumeux

ACHANCE-TREMBLAY

## La recherche au LCMB

### THÈME – MATÉRIAUX RECYCLÉS

Enrobés recyclés (RAP...GBR)



Bardeaux d'asphalte



EE

Poudrette de caoutchouc



Verre postconsommation



## Problématique du recyclage du verre au Québec



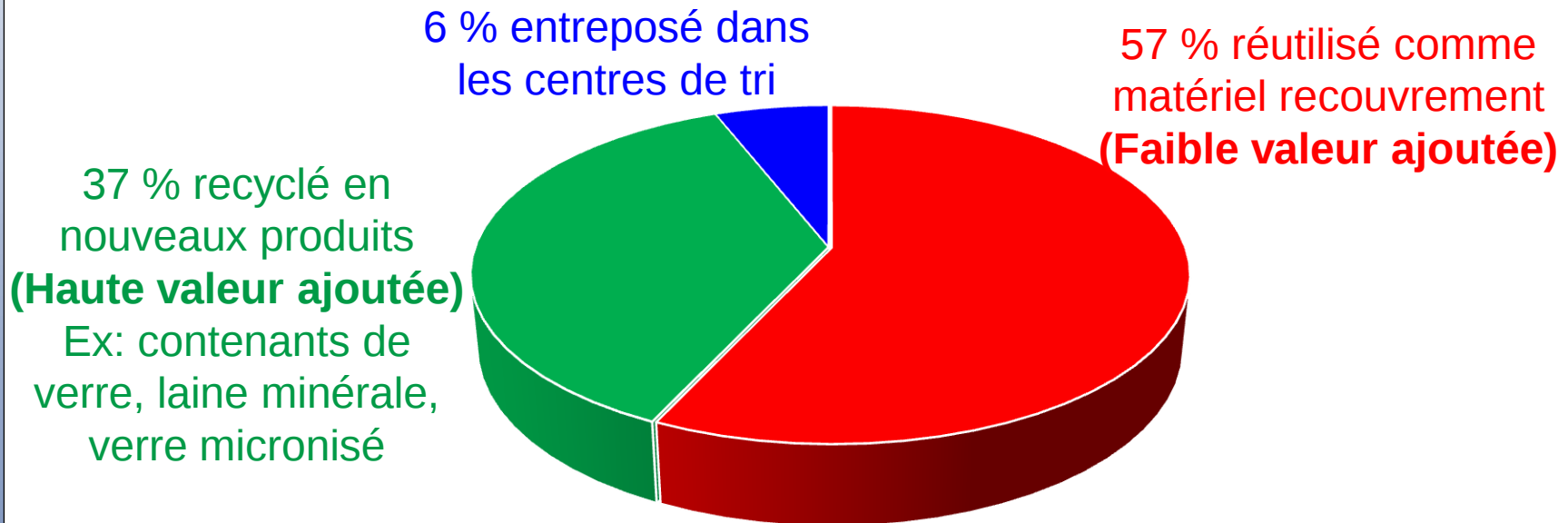
## Problématique du recyclage du verre au Québec

- Les centres de tri n'ont pas les équipements requis permettant un tri du verre en fonction de la couleur;
- Les contenants de verre brisés se retrouvent mélangés:
  - Le résultat est de couleur mixte;
- Le verre de couleur mixte ne peut être réutilisé pour produire des nouveaux contenants de verre;
- Jusqu'à maintenant, peu d'utilisations pour le verre mixte:
  - **Pourquoi?:** la principale entreprise de recyclage du verre a fermée en 2013;
  - **Les utilisations?:** la majorité du verre mixte est utilisé pour matériel de recouvrement journalier dans les LET;
  - **Que doit-on faire?:** trouver de nouvelles utilisations au verre mixte avec une valeur ajoutée élevée.



## Problématique du recyclage du verre au Québec

- Quelques chiffres:
- En 2014, au Québec:



- 94 % du verre recueilli a été recyclé;
- Des projets de recherches sont nécessaires afin de trouver des alternatives représentant une haute valeur ajoutée;
  - Additif dans les bétons de ciment, granulats dans les structures de chaussées, matériel de filtration, etc.

## Projet de recherche : Incorporation de granulats de verre dans les matériaux de chaussées au LCMB

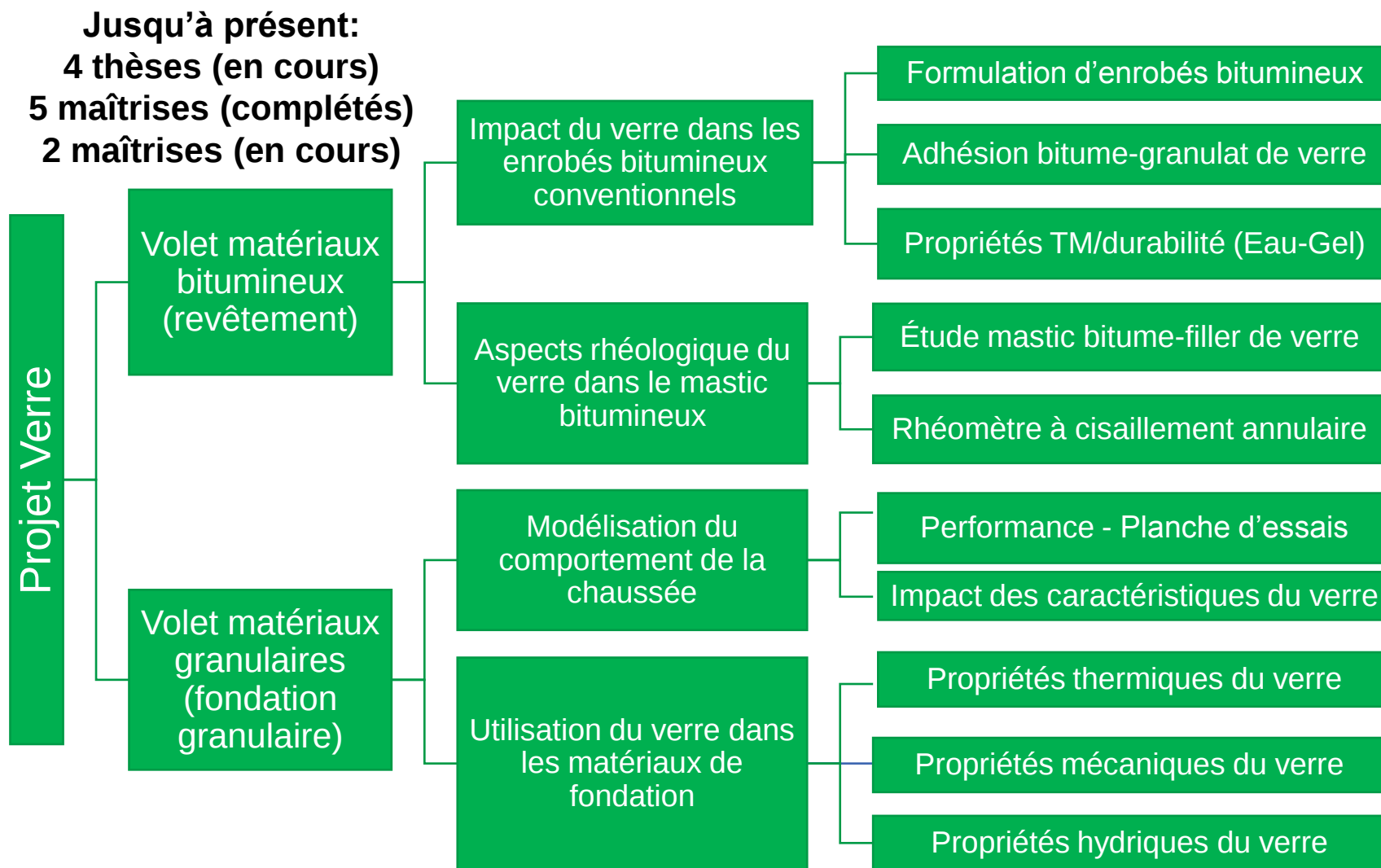


## Projet de recherche : Incorporation de granulats de verre dans les matériaux de chaussées

- Projet réalisé au Laboratoire des Chaussées et Matériaux Bitumineux (LCMB) de l'École de Technologie Supérieure (ÉTS)
- Professeur responsable : Michel Vaillancourt
- Professeurs collaborateurs : Daniel Perraton, Alan Carter & Hervé Di Benedetto (ENTPE-Lyon)
- 6 partenaires : SAQ, Mitacs, ÉÉQ, Recyc-Québec, Ville de Montréal & ENTPE-Lyon



# Projet de recherche : Incorporation de granulats de verre dans les matériaux de chaussées



## Projets pilotes réalisés en milieu municipal

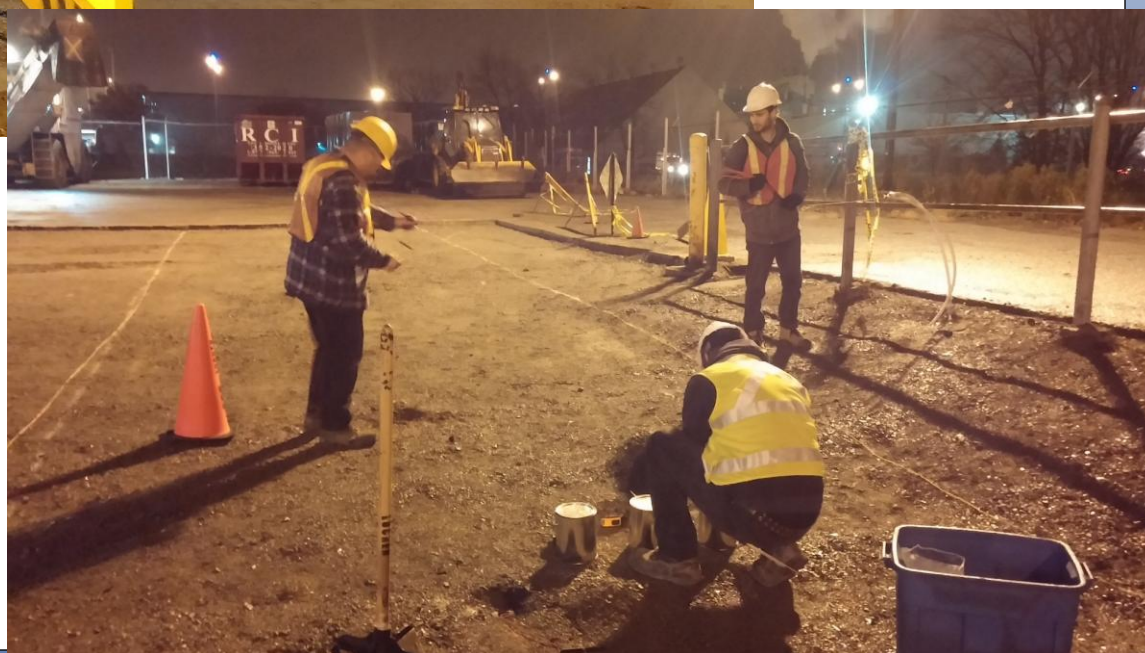


## Projets pilotes réalisés en milieu municipal

- Planche d'essai SAQ Barsalou – Entrepôt SAQ
- EBHP-14-VERRE 100mm vs 100mm EB-10 & EB-14



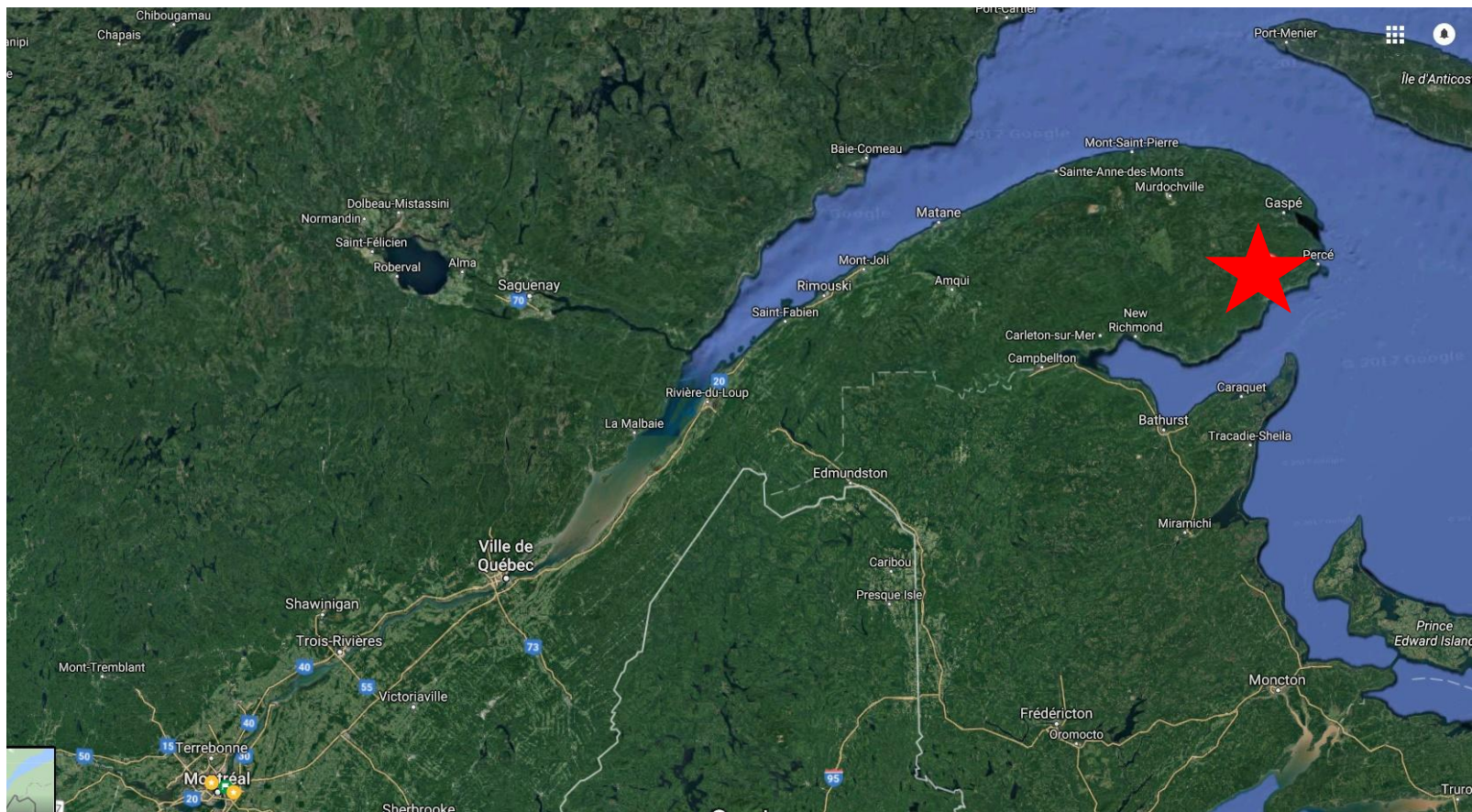






# Projets pilotes réalisés en milieu municipal

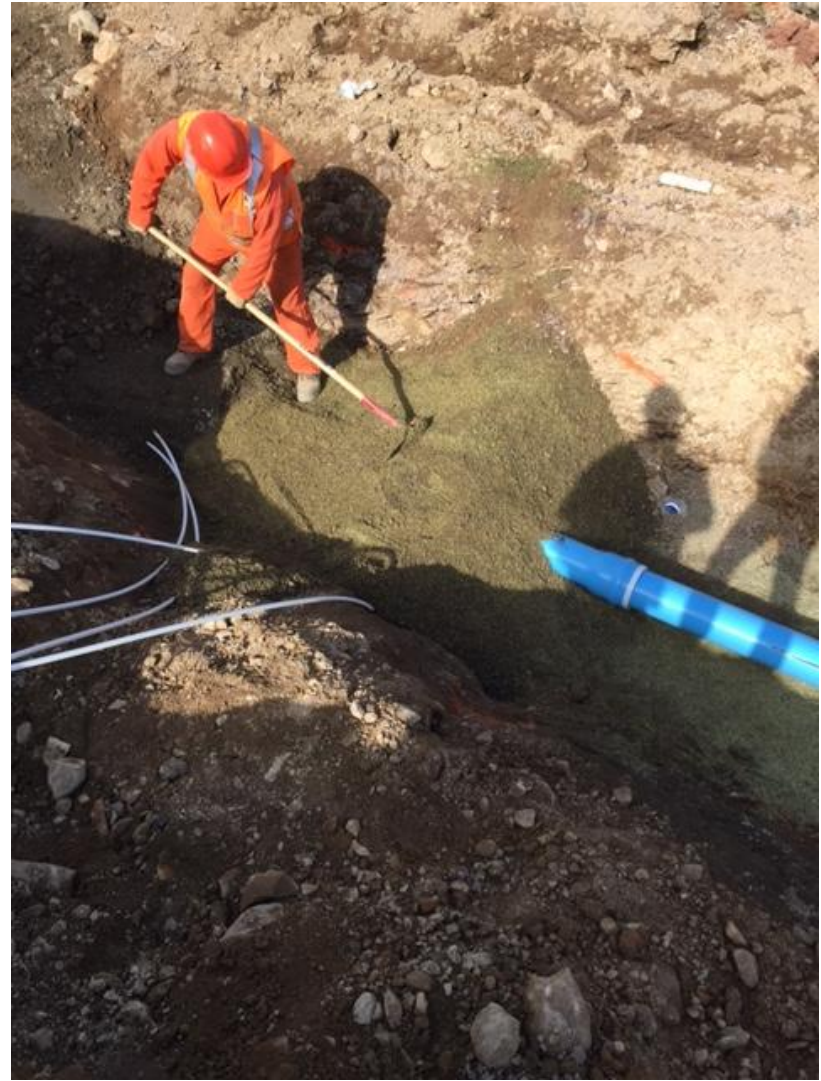
- Planche d'essai enrobage de conduites - Chandler



## Projets pilotes réalisés en milieu municipal



**Verre implosé 0-6 mm**



## Projets pilotes réalisés en milieu municipal



## Formulation des enrobés avec granulats de verre

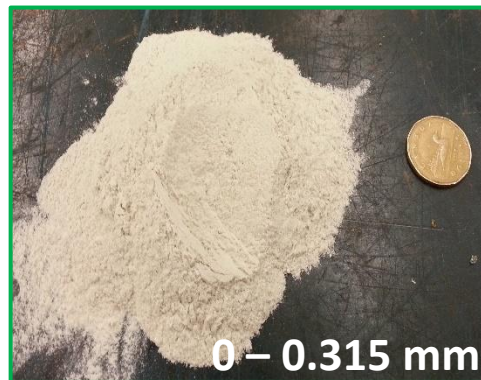
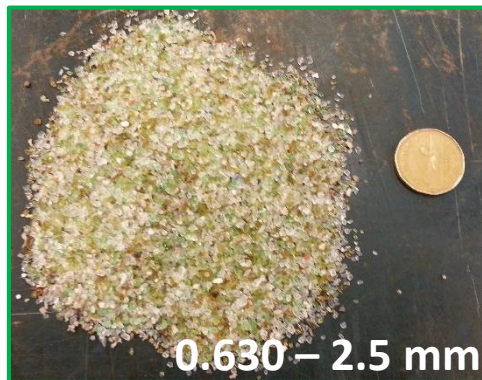


## Formulation des enrobés avec granulats de verre – projet pilote

- 1<sup>er</sup> Projet pilote en « labo » complété en 2014;
- 1 seul EB testé : ESG-14 avec PG64-34
- Formulé selon la méthode LC;
  - 1<sup>er</sup> volet:  
Évaluation de l'effet du dosage en verre: 0, 5, 10, 15, 20, 25 (% de la masse totale de granulats)

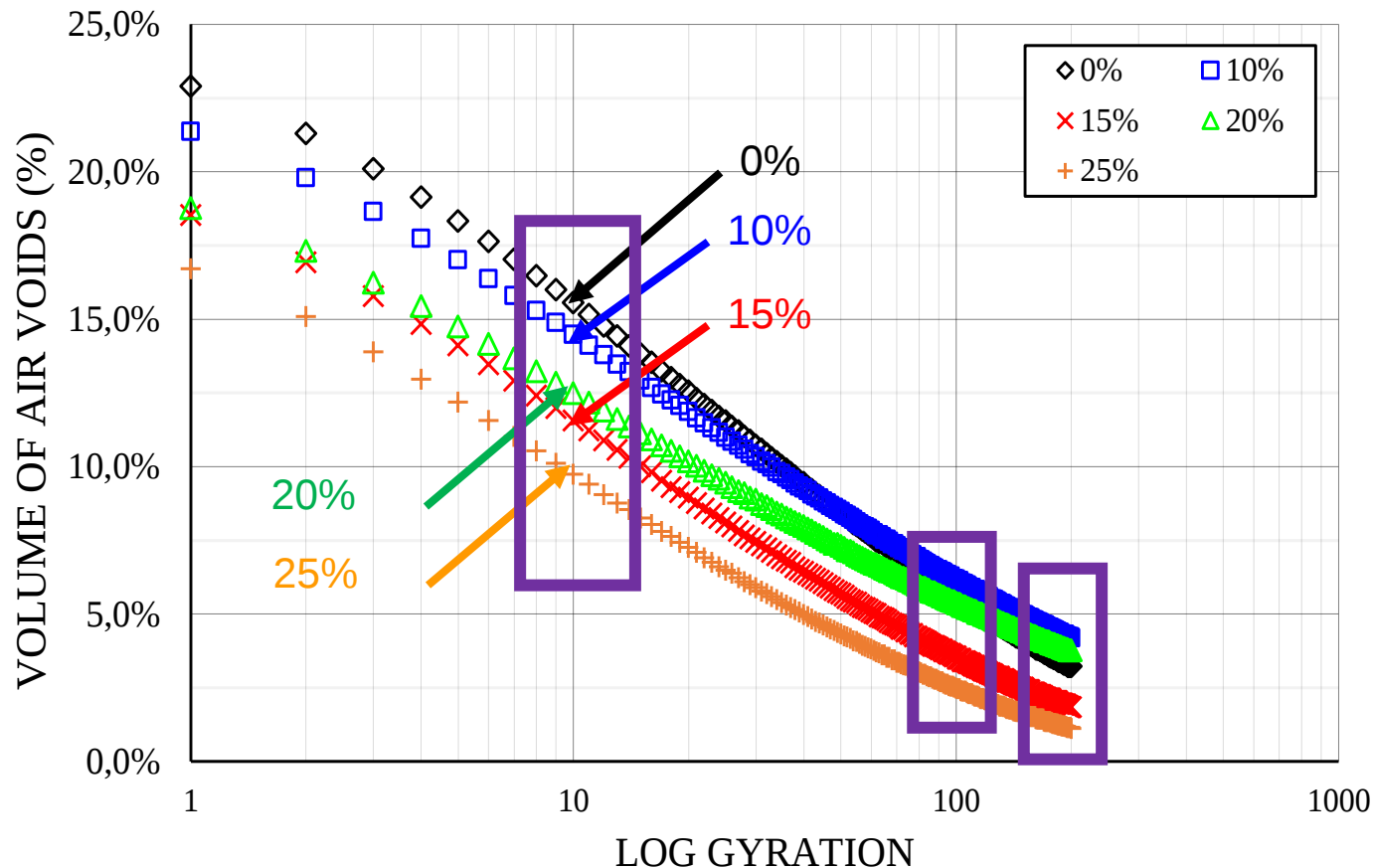
### **Critères d'analyse:**

- Caractéristiques volumétriques ( $V_{ba}$  vs  $V_{be}$ )
- Aptitude au compactage (PCG)
- Résistance à l'orniérage (orniéreur MLPC)



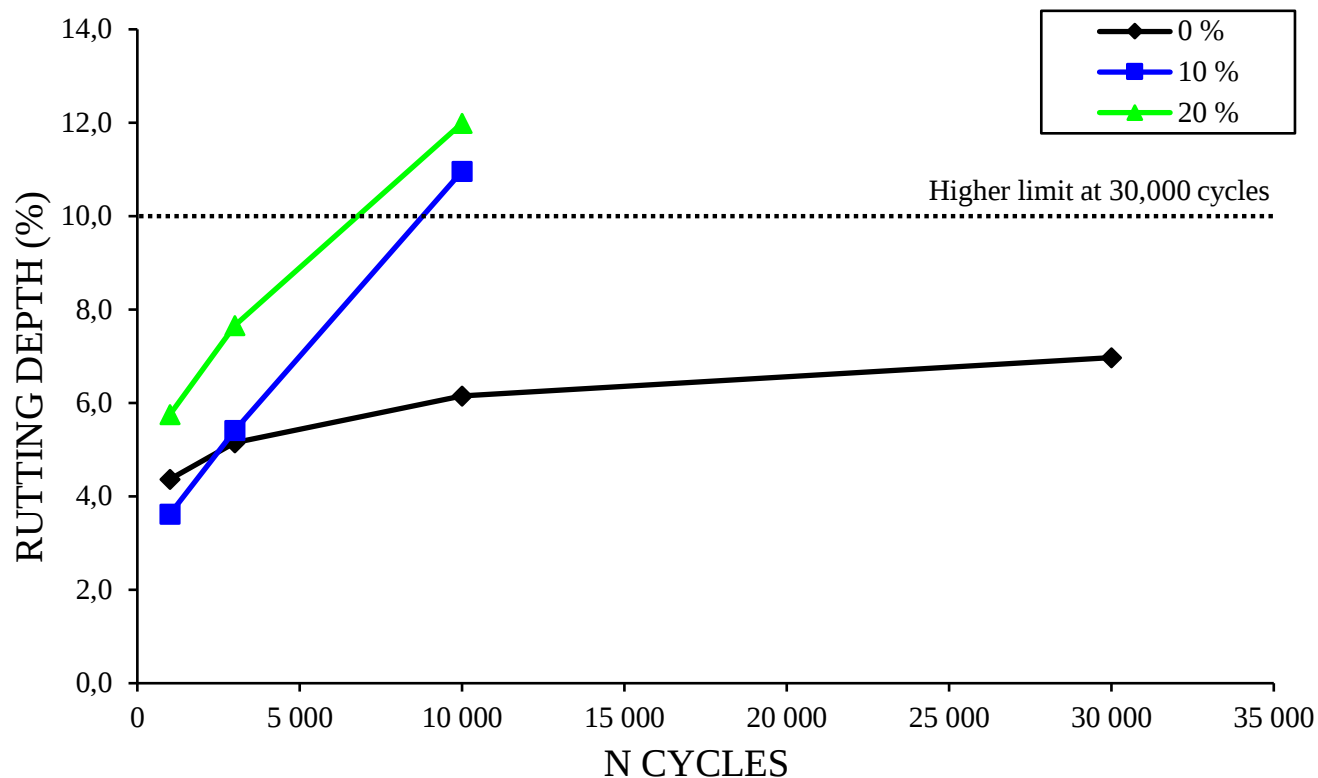
# Formulation des enrobés avec granulats de verre – projet pilote

- Principales observations:
  - Réduction de la teneur en bitume ( $b\%$ ) pour  $V_{be}$  cible;
  - Augmentation de l'ouvrabilité;



## Formulation des enrobés avec granulats de verre – projet pilote

- Principales observations:
  - Réduction de la teneur en bitume (b%) pour  $V_{be}$  cible;
  - Augmentation de l'ouvrabilité;
  - Diminution de la résistance à l'orniérage;



## Formulation des enrobés avec granulats de verre – projet pilote

- 2<sup>e</sup> volet:
- Sélection de deux EB: REF (0%) & 10%-Verre (ajustement de la teneur en bitume)
  - Évaluation et comparaison des performances thermomécaniques;
- **Critères d'analyse:**
  - TSRST
  - Module complexe
  - Fatigue
  - Tenue à l'eau
- Performances très similaires, excepté:
  - Diminution tenue à l'eau (99 % vs 88 %)



## Formulation des enrobés avec granulats de verre – projet pilote

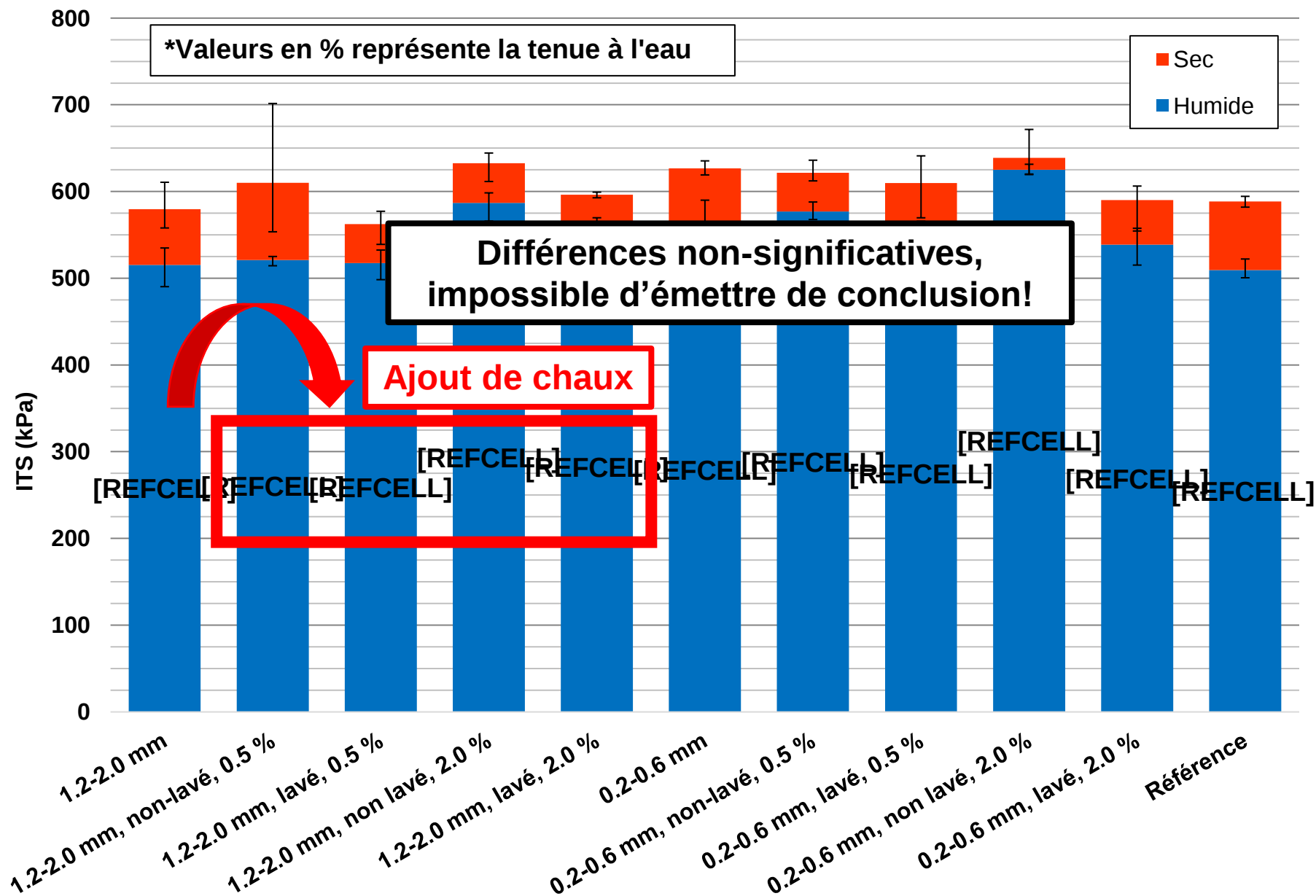
- Conclusion du projet pilote en « labo »:
- 1<sup>er</sup> volet: Étude de l'effet du dosage en verre
  - Réduction possible de la teneur en bitume d'ajout pour un  $V_{be}$  cible
  - Augmentation de l'ouvrabilité
  - Diminution de la résistance à l'orniérage
- 2<sup>e</sup> volet: Évaluation et comparaison des performances
  - Performances équivalentes au niveau de:
    - Résistance au retrait thermique empêché
    - Module complexe
    - Résistance à la fatigue
  - Augmentation de la sensibilité à l'eau
- Recommandations :
  - Le critère de  $V_{be}$  ne semble pas être approprié pour les enrobés avec verre
  - Formulation doit plutôt être axée sur des critères de performances (orniérage, module complexe, etc.)
- Résultats détaillés disponibles : Mémoire maîtrise ou sommaire RMPD 2015  
*Evaluation of the impact of recycled glass on asphalt mixtures performances*

## Formulation – Étude de la durabilité

- Validation de la durabilité des EB;
- Programme d'évaluation de la tenue à l'eau entamé:
  - Tenue à l'eau Marshall;
  - Tenue à l'eau *ITS* (*TSR ratio*);
- Tenue à l'eau Marshall;
  - Rappel: ESG-14 PG64-34, REF vs 10 % verre
  - 99 % vs 88 %

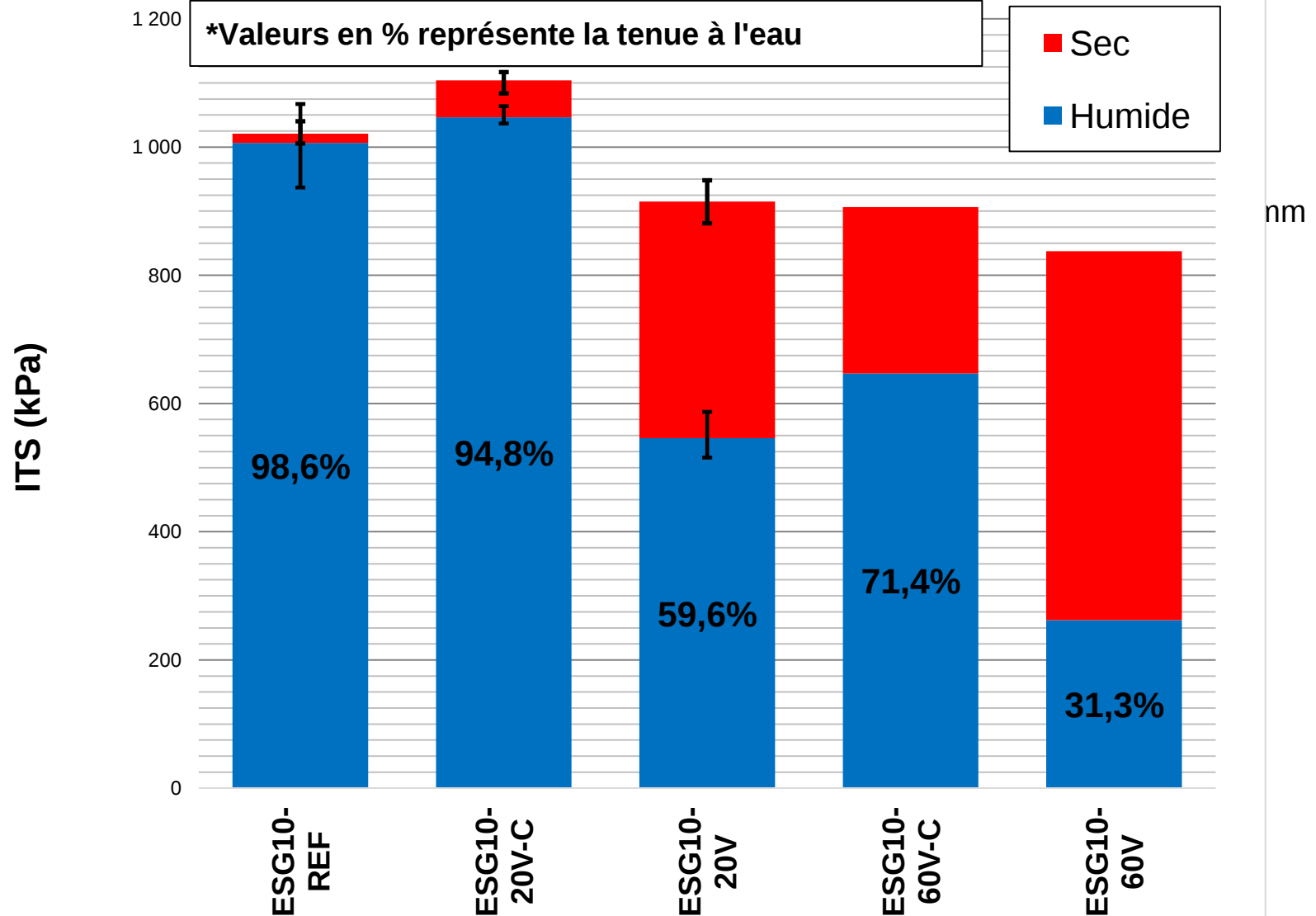
|                                       |             |                     | Saturation                                                                  | T° eau (°C)                                                    | Durée (h) | (°C)              |                                |
|---------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|
| Tenue à l'eau<br>(Stabilité Marshall) | LC 26-001   | Marteau Marshall    | $P \leq 4$ kPa pendant 30 minutes                                           | 60                                                             | 24        | 60 (sec & humide) | Ratio perte stabilité Marshall |
| Indirect tensile strength<br>(ITS)    | AASHTO T283 | PCG, $V_i @ 7,0 \%$ | 70-80 %                                                                     | Multiple<br>-18°C pour 16 h<br>60°C pour 24 h<br>25°C pour 2 h |           | 25 (sec & humide) | Ratio perte ITS                |
| Granulats enrobés                     |             |                     |                                                                             |                                                                |           |                   |                                |
| Résistance du liant au désenrobage    | LC 25-009   | N/A                 | 50 g granulats enrobés + 100 ml d'eau<br>200 agitations/minutes durant 24 h |                                                                |           | Ambiante          | Évaluation visuelle            |





Légende : taille granulats de verre, état des granulats de verre, dosage en chaux

## Formulation – Tenue à l'eau *ITS (TSR ratio)*



## Formulation – Tenue à l'eau *ITS* (*TSR ratio*)



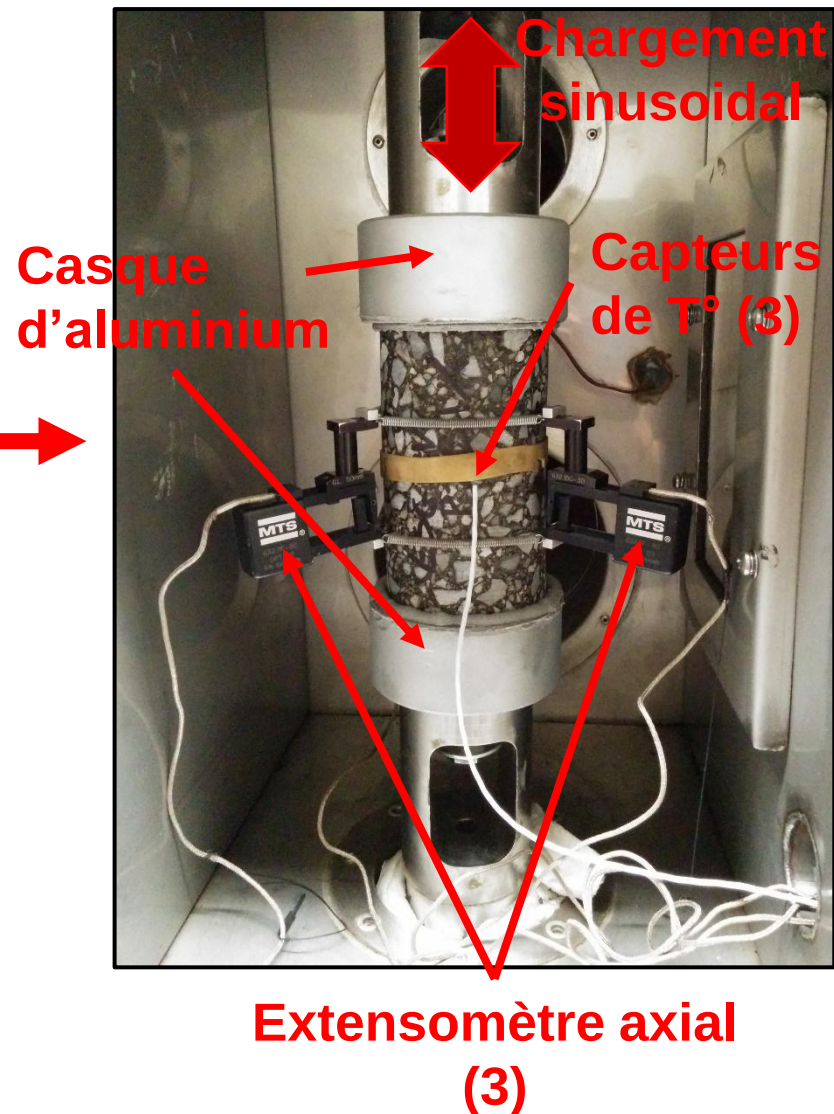
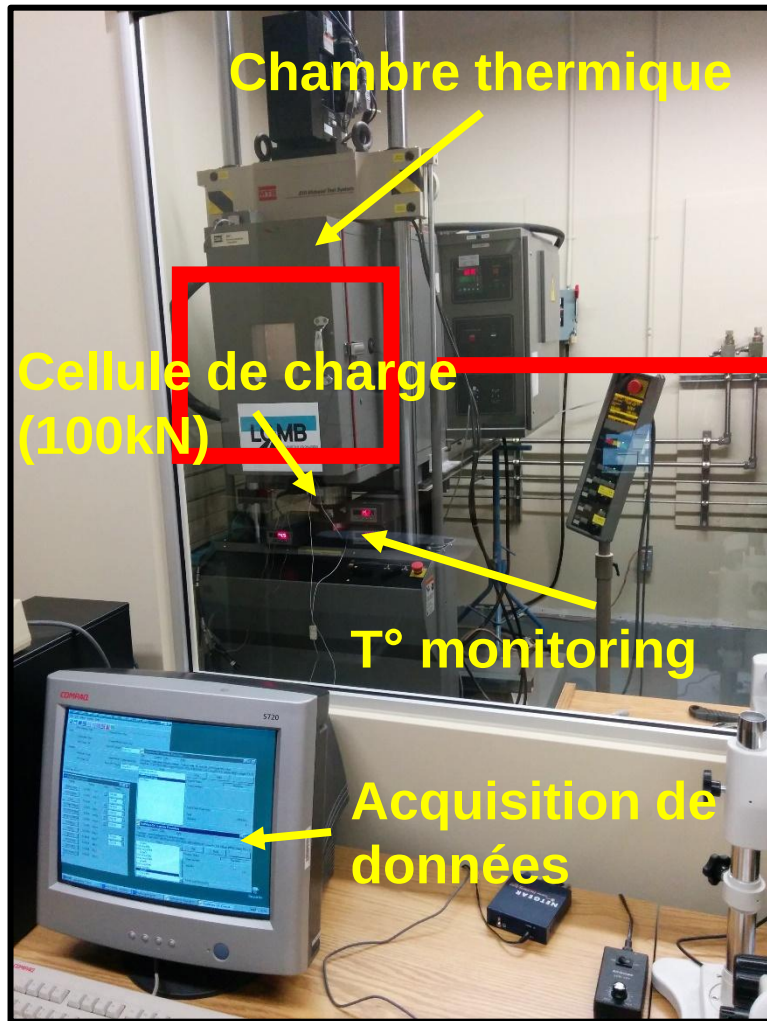
## Formulation – Tenue à l'eau via le module complexe ( $E^*$ )

- Selon les méthodes conventionnelles, pas de problème de durabilité;
- Or, avec conditionnement supplémentaire, on remarque un problème;
- Problématique de ces méthodes:
  - Aucune corrélation avec les performances des EB en chantier;
  - Faible reproductibilité;
- Validation de la durabilité à long terme des EB;
- Poursuite de l'investigation: Évaluation de la durabilité par l'essai de module complexe (propriétés VEL);



Évaluation de  
la rigidité  
selon  
plusieurs  $T^\circ$   
et Fr.

## Formulation – Tenue à l'eau via le module complexe ( $E^*$ )



## Formulation – Tenue à l'eau via le module complexe (E\*)

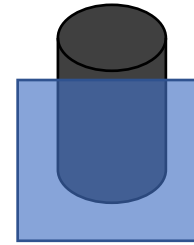
**1.** E\* à sec  
-35°C à 35°C; 7 Fr



**2.** Saturation



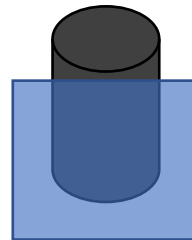
**3.** Eau @ 60°C, 14 jours



**4.** E\* humide  
5°C à 35°C; 7 Fr



**5.** Cycles de gel-dégel

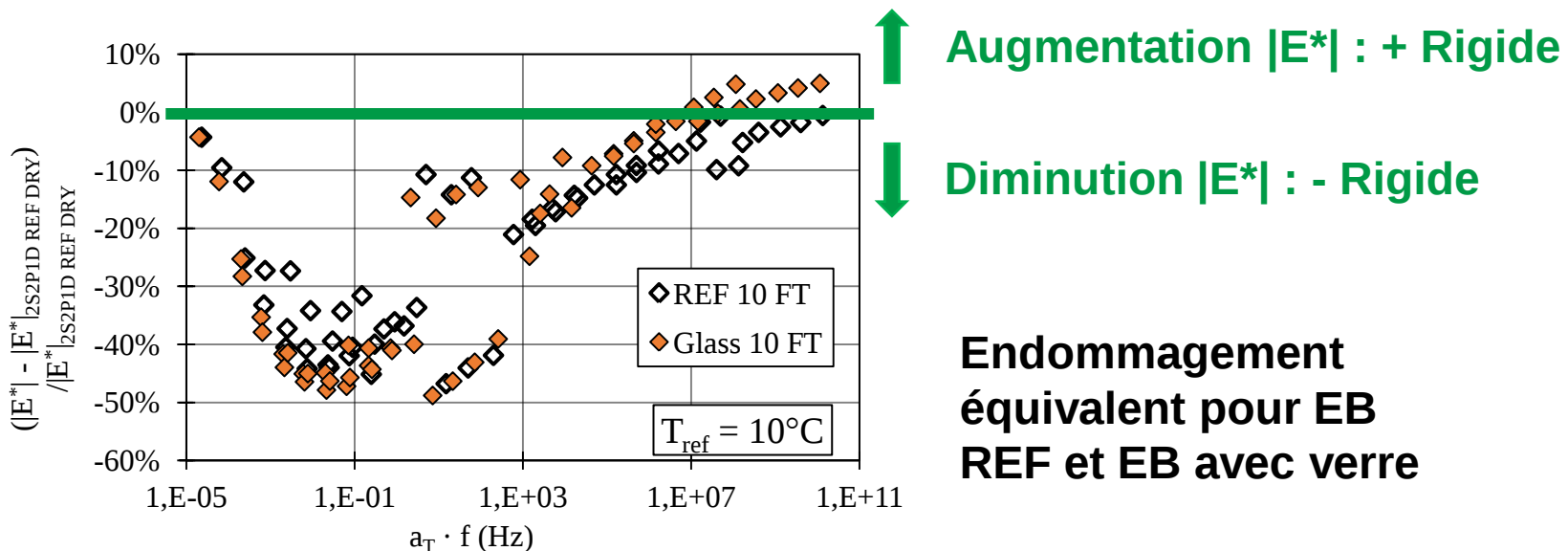


**6.** E\* humide  
-35°C à 35°C; 7 Fr



## Formulation – Tenue à l'eau via le module complexe ( $E^*$ )

- Module complexe : permet d'apprécier la variation des propriétés viscoélastique linéaire
- 2 EB testés : ESG-10-REF vs ESG-10-20% verre
- 2 % de chaux hydratée
- Comparaison après 10 gel-dégel



## Projets pilotes en milieu municipal à venir



## Planche d'essai Ville de Montréal

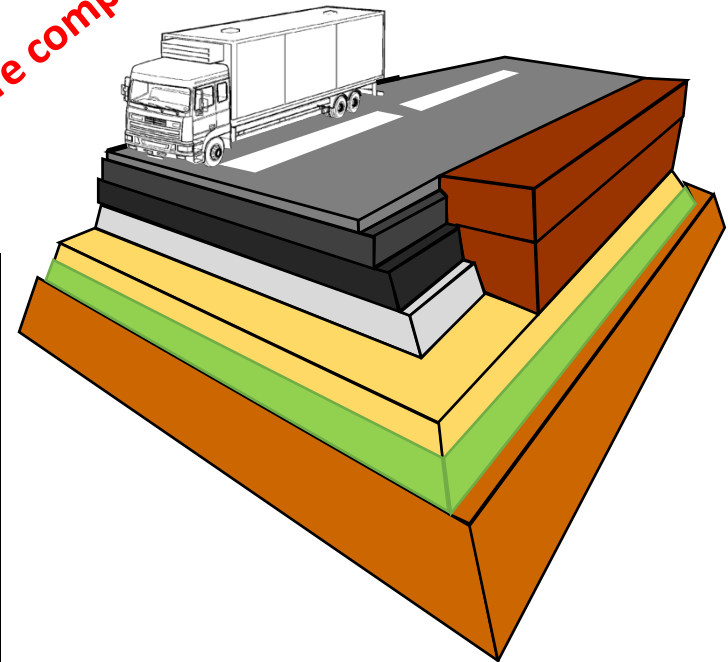
- Reconstruction complète d'une chaussée;
- Tronçon longuer approximative 600m voies;
- Utilisation de matériaux fondation probé bitumeux avec granulats de verre;
- 4 structures types

1. Potentiel d'isolation

2. Conventiennelle

3. EB avec verre

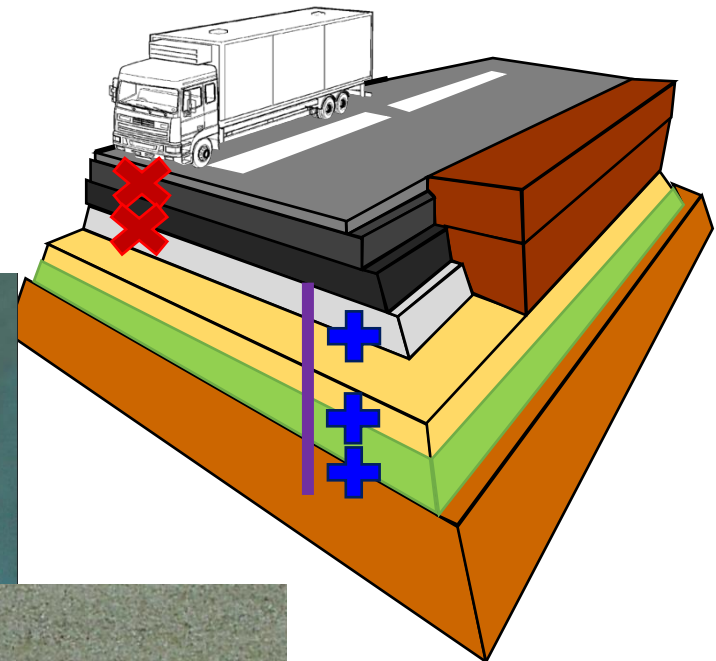
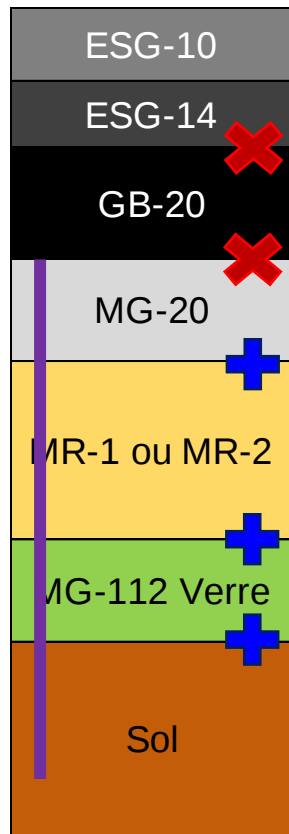
4. Structure complète verre



|              |              |               |              |
|--------------|--------------|---------------|--------------|
| ESG-10       | ESG-10       | ESG-10-VERRE  | ESG-10-VERRE |
| ESG-14       | ESG-14       | ESG-14-VERRE  | ESG-14-VERRE |
| GB-20        | GB-20        | EBHP-14-VERRE | GB-20-VERRE  |
| MG-20        | MG-20        | MG-20         | MG-20        |
| MR-1 ou MR-2 | MR-1 ou MR-2 | MR-1 ou MR-2  | MR-1 ou MR-2 |
| MG-112 Verre |              |               | MG-112 Verre |
| Sol          | Sol          | Sol           | Sol          |

## Planche d'essai Ville de Montréal

- Instrumentation complète de la chaussée:
  - Sonde thermique
  - Jauge de déformation ✗
  - Sonde HR +

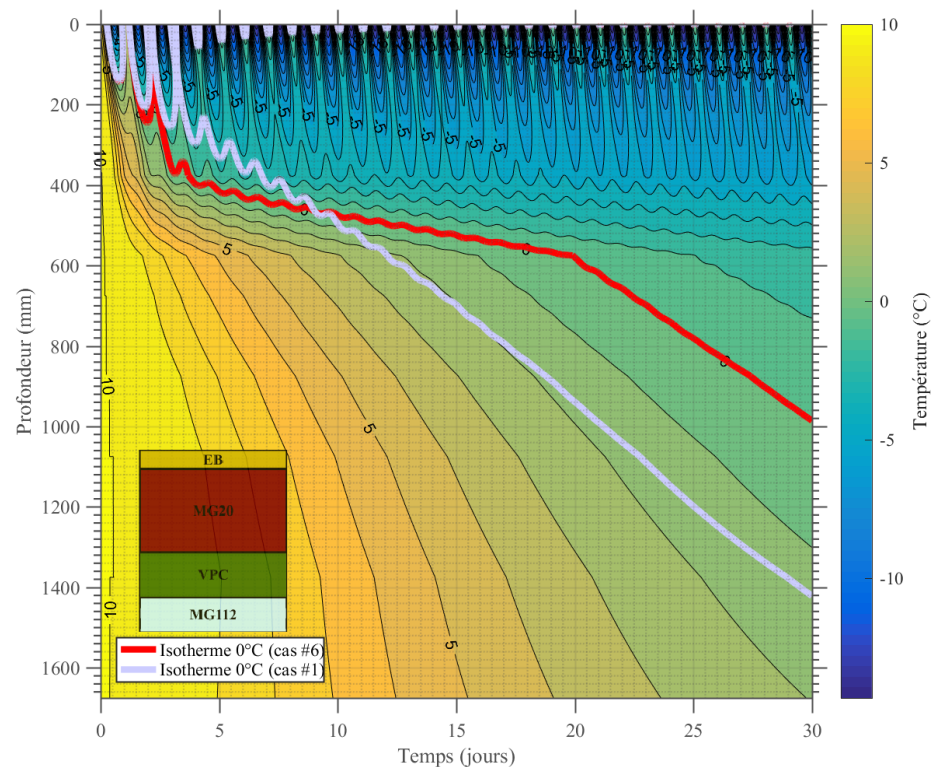
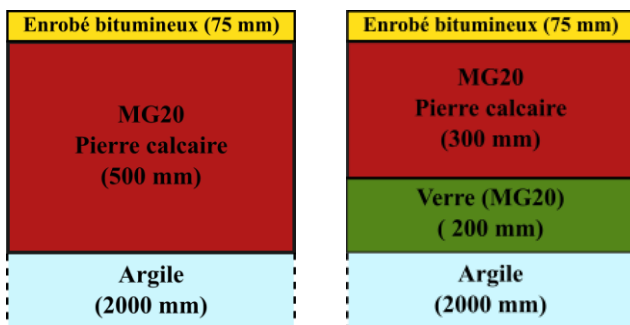


## Planche d'essai Ville de Montréal – Le verre dans les fondations granulaires

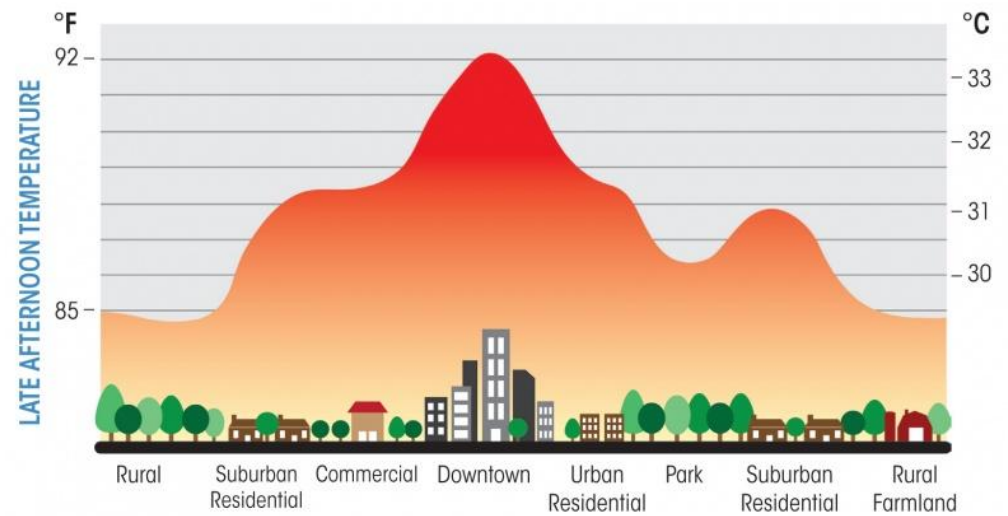
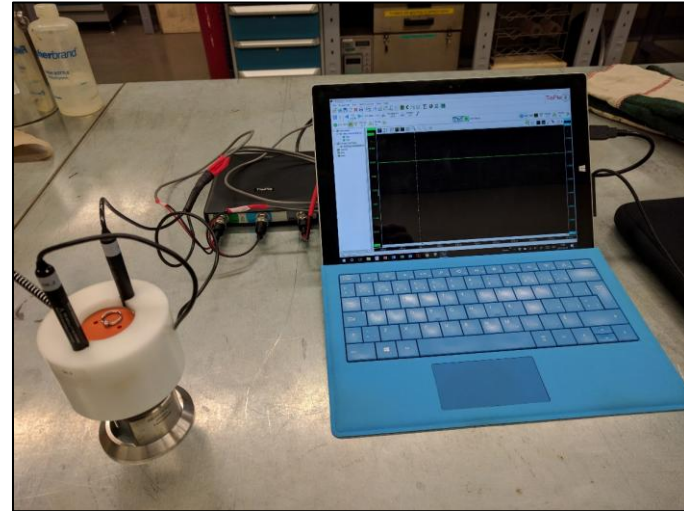
- Bénéfice potentiel : isolation de la chaussée
- Peu de travaux ont approfondi l'aspect thermique:
  - Aucune étude sur l'impact thermique du verre dans les couches granulaires
  - Quelques données sur des EB+Verre : augmentation de la proportion de verre entraîne une réduction des propriétés thermiques (transfert de chaleur) (Dames & Moore, 1993)
- A l'ÉTS, un volet est consacré au sujet
  - Évaluer les propriétés thermiques du verre et les comparer avec ceux des matériaux de fondation
  - Apprécier l'impact de l'incorporation de verre dans la chaussée sur la pénétration du gel au moyen de modélisations numériques
  - Planche d'essai (2018) : instrumentation en vue d'obtenir des données in-situ (par la suite seront validées numériquement)
- Les essais menés par Bernard (2014) ont montré que du point de vue de l'aptitude au compactage, la résistance au cisaillement et la durabilité du granulat de verre il est possible de mélanger jusqu'à 50% de verre tout en respectant les exigences

## Planche d'essai Ville de Montréal – Le verre dans les fondations granulaires

- Les premiers résultats ont montré que :
  - Le verre à des propriétés thermiques plus faibles que la pierre calcaire, notamment à l'état humide : confirme le potentiel isolant d'une couche de verre
  - Couche de verre dans la chaussée : réduit la profondeur de pénétration du gel



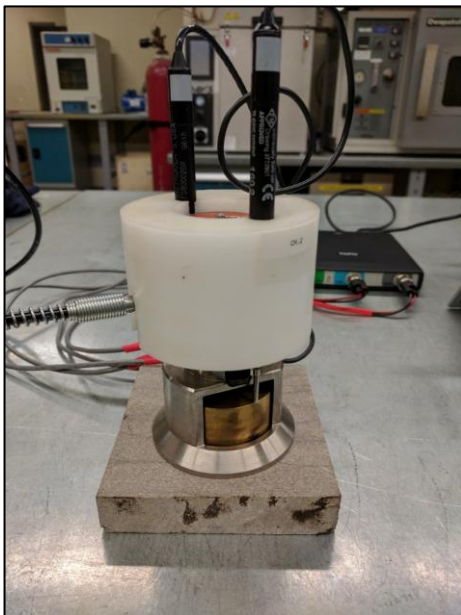
## Perspectives



<http://blog.pages-energie.com/les-toitures-vegetalisees-pour-lutter-contre-les-ilots-de-chaaleur-conseils-de-mise-en-oeuvre-et-avantages-pour-le-batiment.html>

## Perspectives - travaux en cours/à venir

- Verre dans l'EB : pouvoir réfléchissant (albédo) permettrait de réduire la température de la couche de surface, réduire l'effet des îlots de chaleurs;
- Impact de divers additifs d'adhésivité sur la durabilité ( $E^*$ );
- Impact du type de bitume (chimie) sur l'adhésion;



**Merci!**

Éric Lachance-Tremblay  
eric.lachance-tremblay.1@ens.etsmtl.ca