

Contrôle de la qualité du remblai sans retrait



Le génie pour l'industrie

Samuel Pothier
Directrice : Claudiane Ouellet-Plamondon
Co-Directeur : Michel Vaillancourt

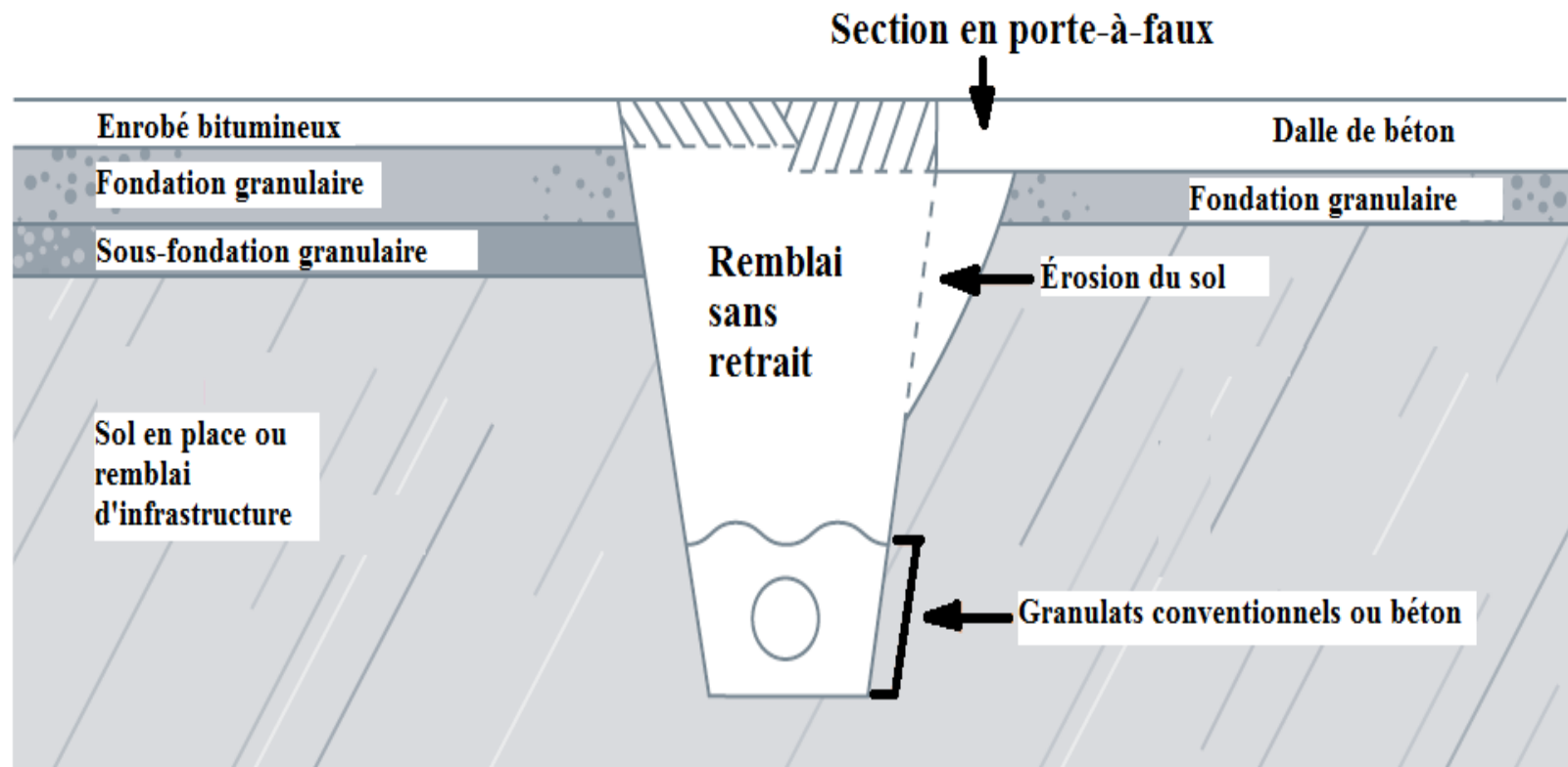
20 novembre 2018

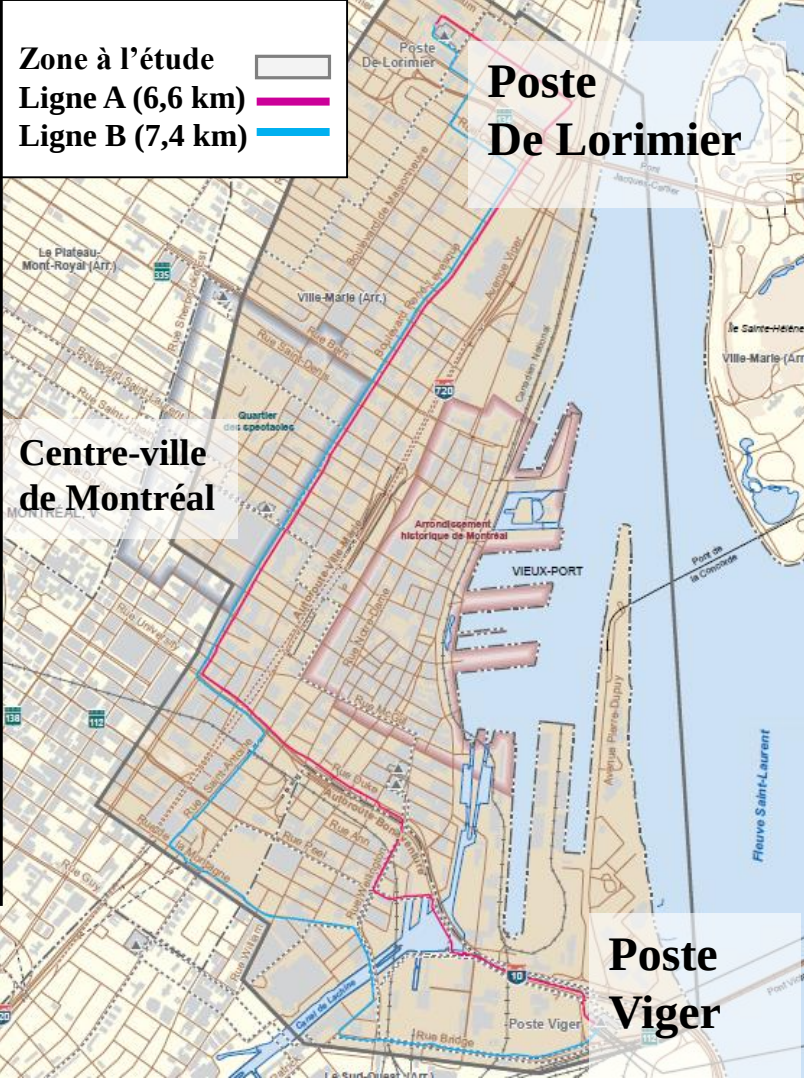


**Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines**

MISE EN CONTEXTE

- Le remblai sans retrait (RSR) est couramment utilisé pour remplir des excavations urbaines.
- La qualité de mise en œuvre et le temps de cure sont difficiles à évaluer
- Le CERIU a mandaté l'École de technologie supérieure pour étudier ce matériau et trouver des solutions.
- L'étude porte principalement sur des projets de la *Commission des services électriques de Montréal* et sur la construction de 14km de lignes souterraines haute-tension qui passe au cœur du centre ville.





PLAN DE LA PRÉSENTATION

- OBJECTIFS
- MATÉRIAUX
- MÉTHODOLOGIE ET PROGRAMME D'ESSAIS
 - BOULE KELLY
 - PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE PORTATIF
 - ESSAI DE CAPACITÉ PORTANTE EN LABORATOIRE **CBR**
- RÉSULTATS ET ANALYSE
 - INFLUENCE DU TEMPS , DE L'EAU ET DES SOLS ENCAISSANTS
 - CAPACITÉ PORTANTE MOYENNE
 - ESSAIS CBR MODIFIÉ
- TEMPÉRATURES DANS LES REMBLAIS DURANT L'HIVER

OBJECTIFS

- Étudier le matériau en chantier et en laboratoire
- Mesurer l'évolution de la capacité portante avec le pénétromètre dynamique
- Réviser les pratiques de contrôle de la qualité
- Étudier l'évolution de la température dans les remblais l'hiver

MATÉRIAUX

Samuel Pothier

ÉTS

Le génie pour l'industrie

7



Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

REMBLAIS SANS COMPACTION MÉCANIQUE

- **Essorable**

- L'eau en excès permet la compaction hydraulique (Saturation > 100%)
- Peu de fines passant 80 μm ($\leq 4\%$)

- **Non-essorable**

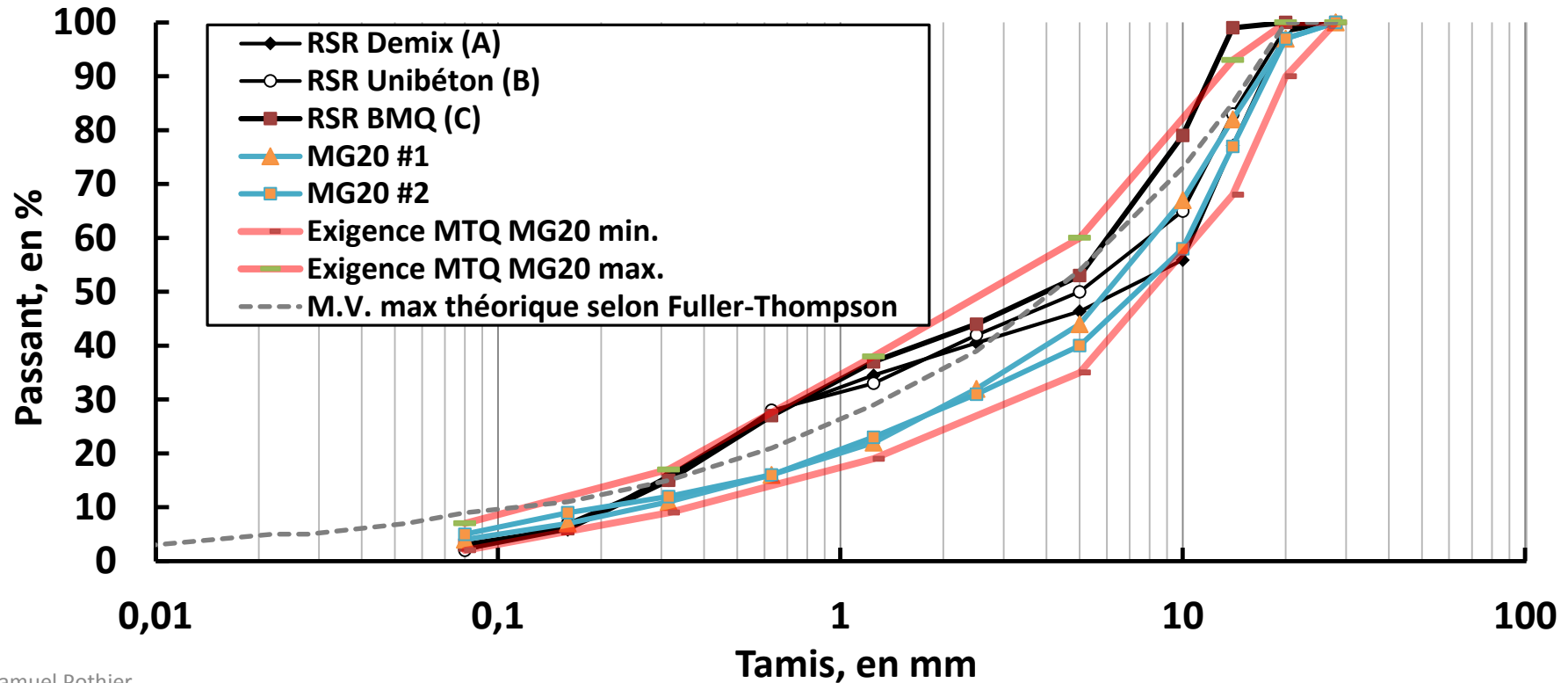
- Mélanges auto-plaçants, auto-nivelants
- Pas d'eau en excès
- La rigidification est fonction de la prise du ciment seulement
- Mélanges plus prévisibles
- Plus coûteux

LE REMBLAI SANS RETRAIT (RSR)

MÉLANGES ESSORABLES RÉ-EXCAVABLE

Mélanges à l'étude	Demix (A)	Unibéton (B)	Béton Mobile du Québec (C)
Pierre	52%	49%	47%
Sable	38%	41%	42%
Ciment	1%	1%	1%
Eau	9%	9%	9%

GRANULOMÉTRIE DES MATÉRIAUX À L'ÉTUDE ET EXIGENCES MTQ



MÉTHODOLOGIE

Samuel Pothier



Le génie pour l'industrie



Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

SOMMAIRE DES ESSAIS RÉALISÉS

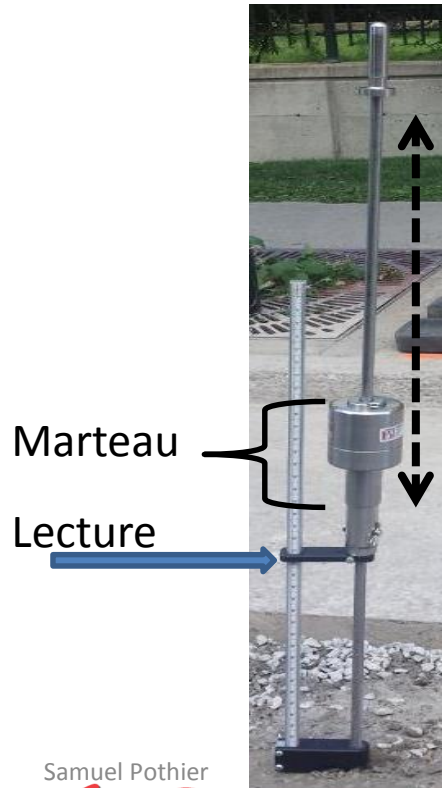
- 21 CHANTIERS ÉTUDIÉS AVEC LA BOULE KELLY ET LE PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE
- 124 ESSAIS DE CAPACITÉ PORTANTE EN LABORATOIRE
- 7 SITES URBAINS INSTRUMENTÉS POUR COMPARER LA TEMPÉRATURE DES REMBLAIS L'HIVER (RSR versus MG20)

BOULE KELLY

- Demi sphère de 15kg
- Norme ASTM6024 (ball drop on Controlled Low Strenght Materials)
- Utilisation selon la norme : laisser tomber la boule d'une hauteur de 90mm et mesurer le diamètre de la trace
 - Permet d'évaluer si le remblai en surface est prêt à prendre des charges
- Utilisation au Québec : mesurer l'enfoncement lorsque le remblai est frais
 - Permet d'évaluer le drainage en surface et son évolution

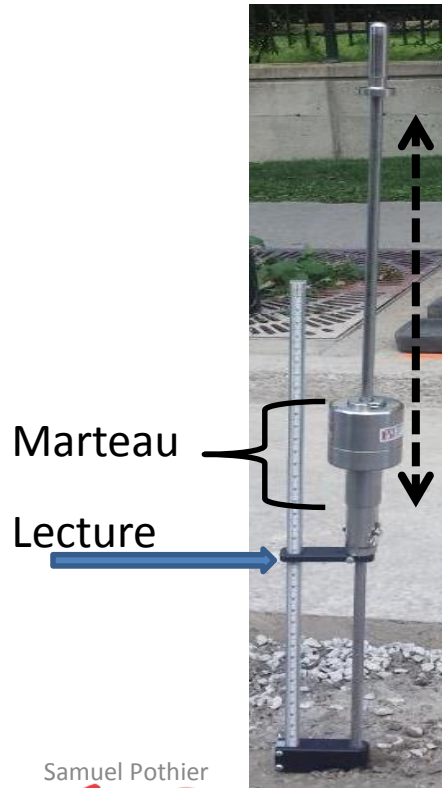


PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE PORTATIF



- Permet de mesurer la rigidité du sol en fonction de la profondeur (jusqu'à 1m et même plus si on ajoute des tiges)
- Relativement peu coûteux (4000\$) et utilisation sans permis
- Espacement minimum de 300 mm entre les essais pour éviter l'interférence
- Moins la tige s'enfonce rapidement, plus le sol est rigide
- Attention aux conduites de gaz

PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE PORTATIF

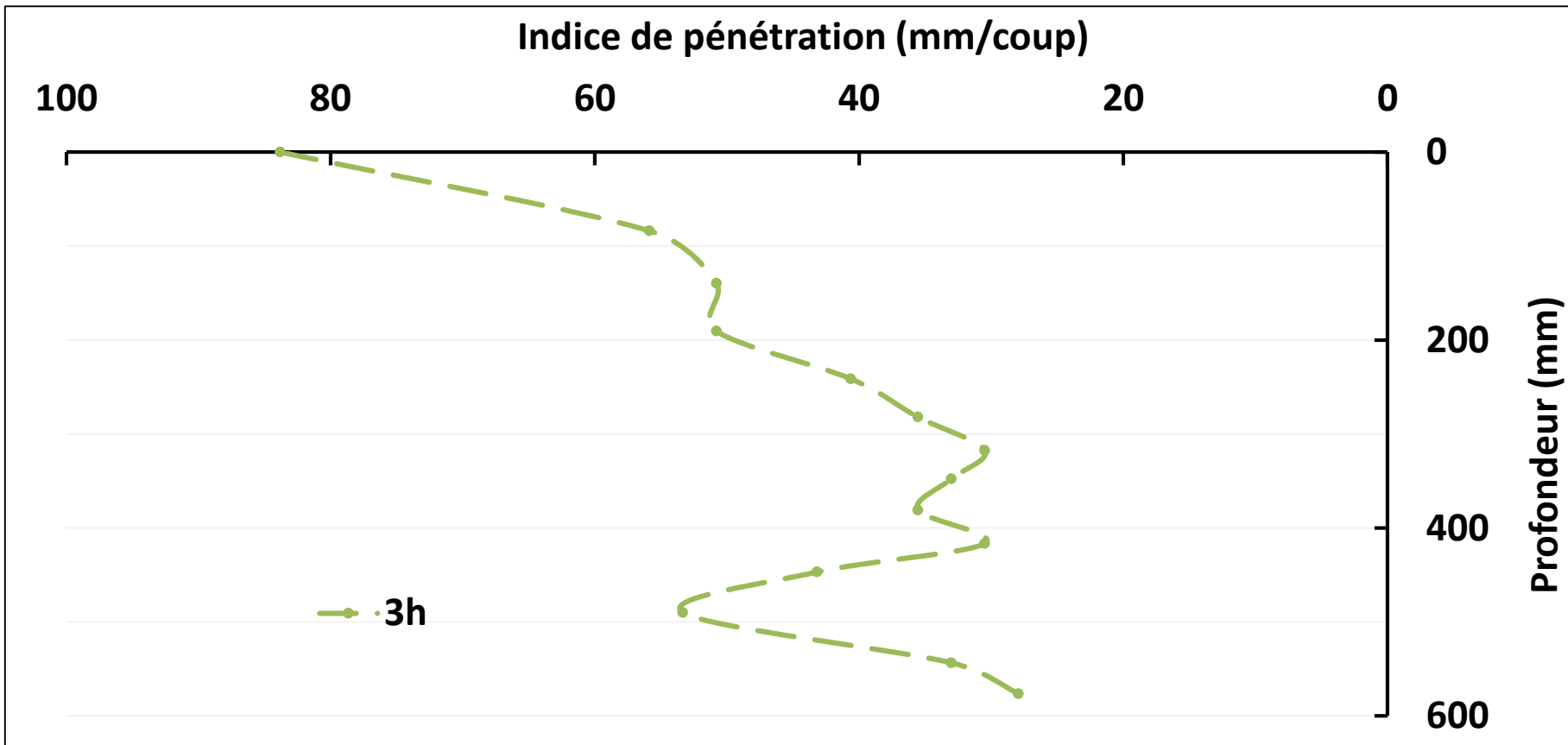


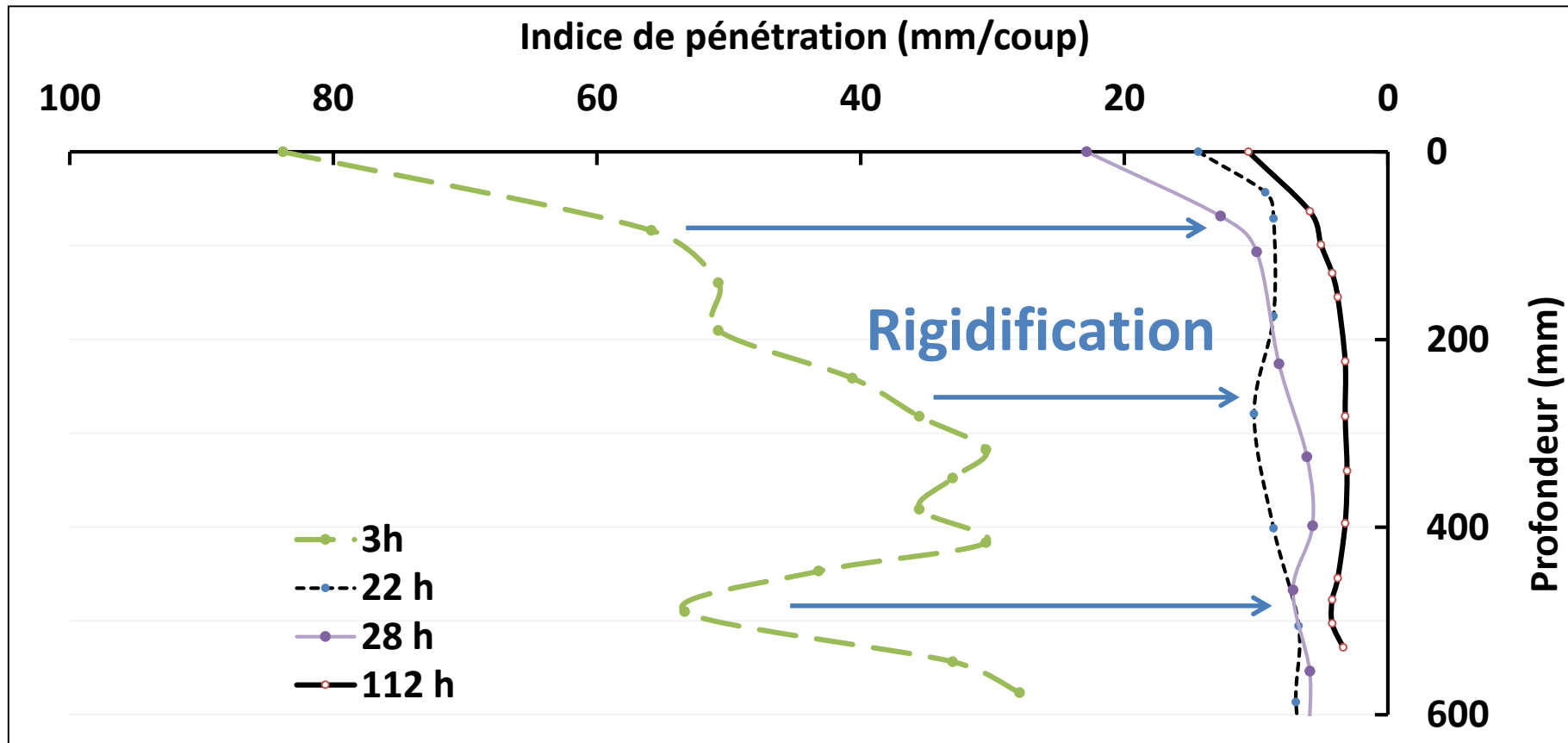
- Norme ASTM D6951
- Donnée brute:
Indice de pénétration **IP** (mm/coup)
- Convertir l'**IP** en indice de capacité portante **CBR** pour faciliter l'analyse

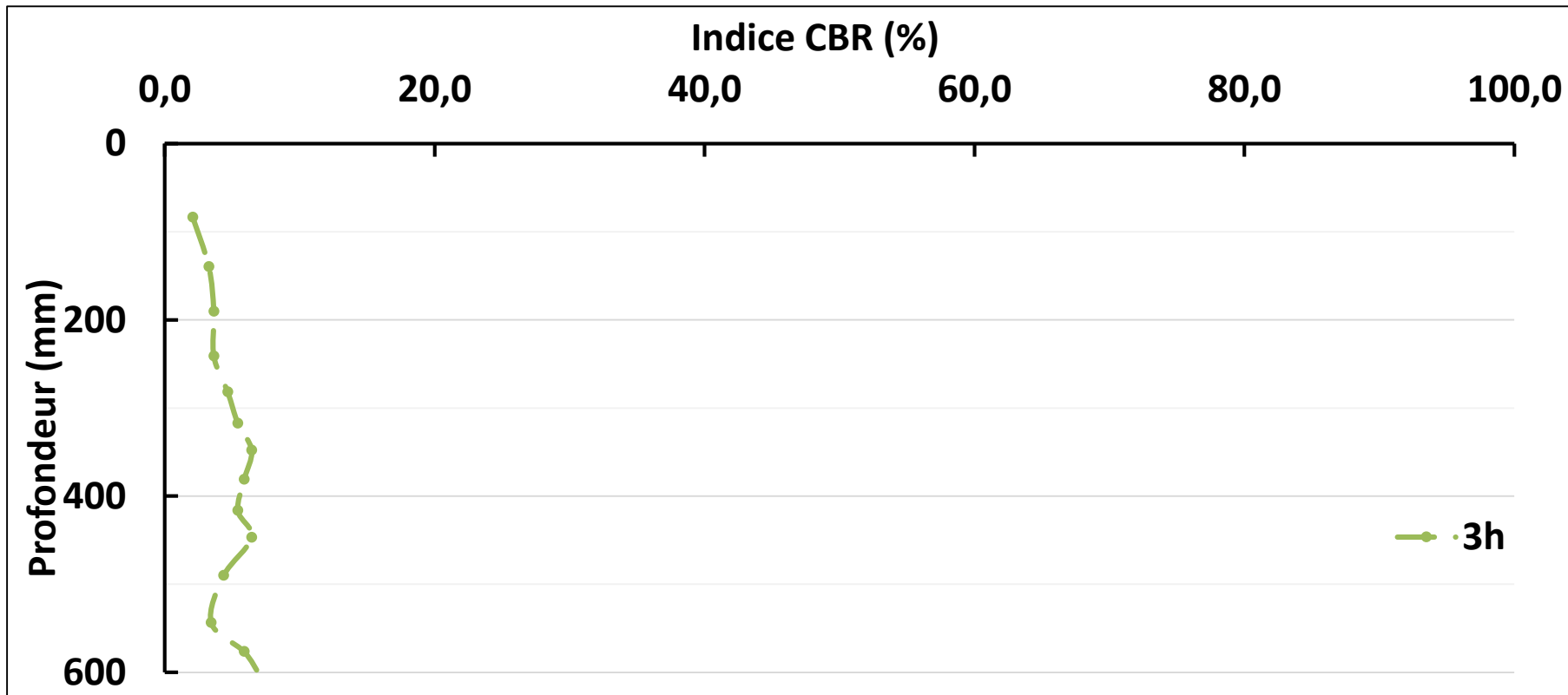
$$\text{CBR} = \frac{292}{IP^{1,12}}$$

PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE PORTATIF

Pénétrogramme





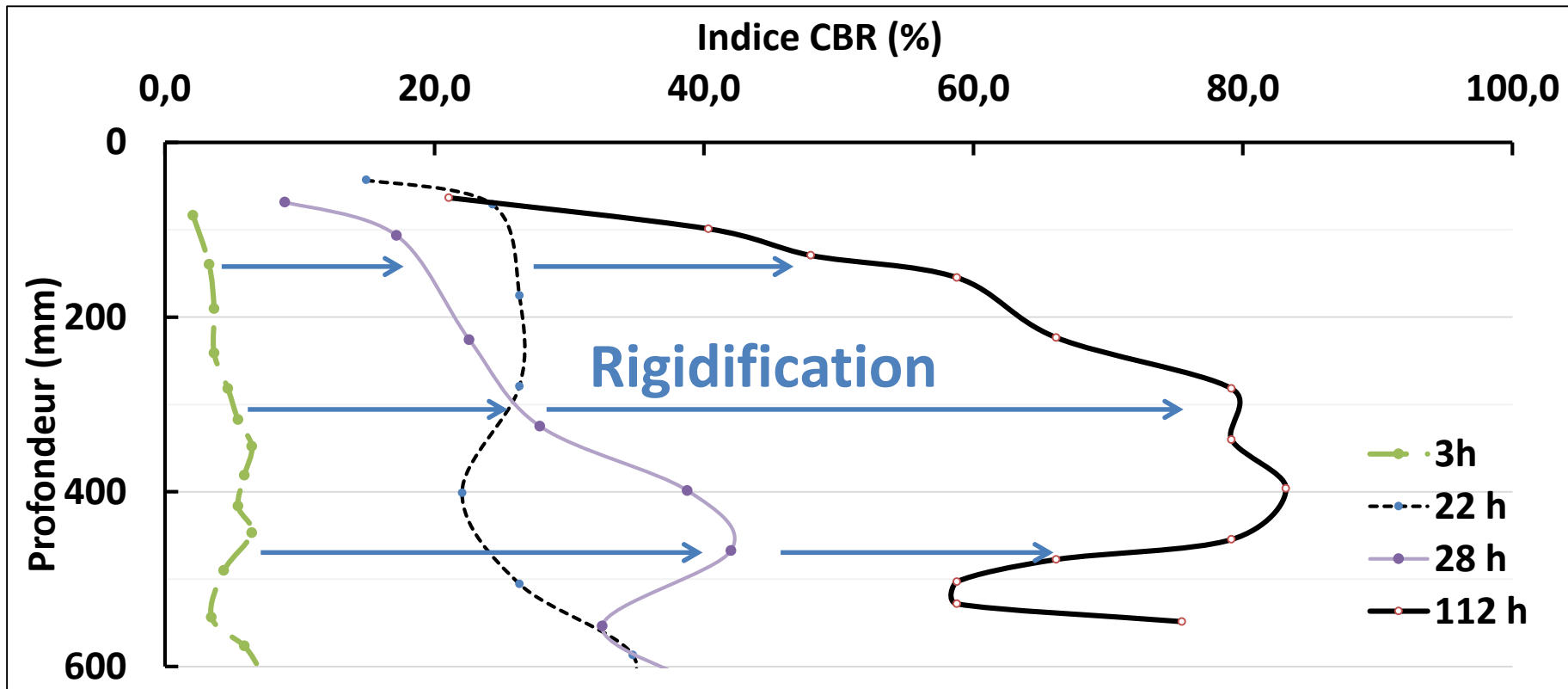


- Conversion en indice CBR
- Plus facile à interpréter

$$CBR = \frac{292}{IP^{1.12}}$$

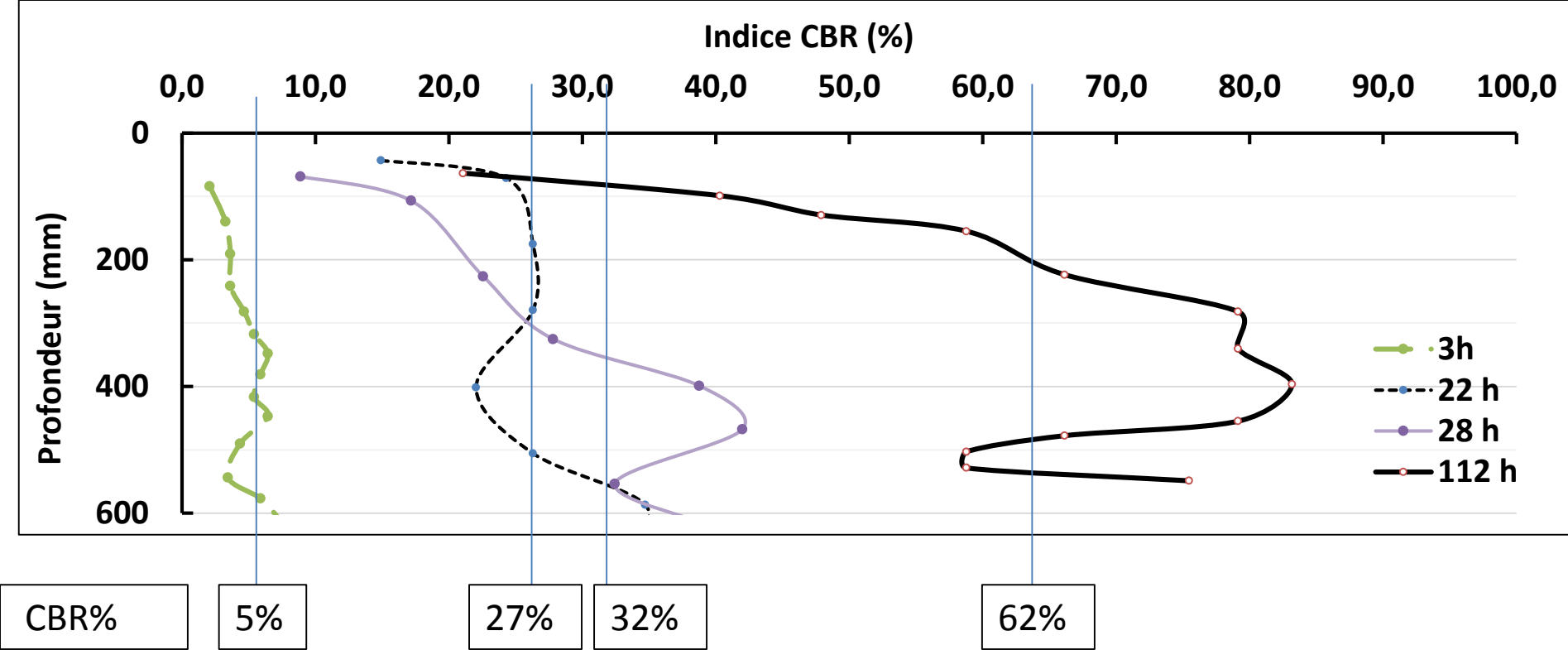


Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines



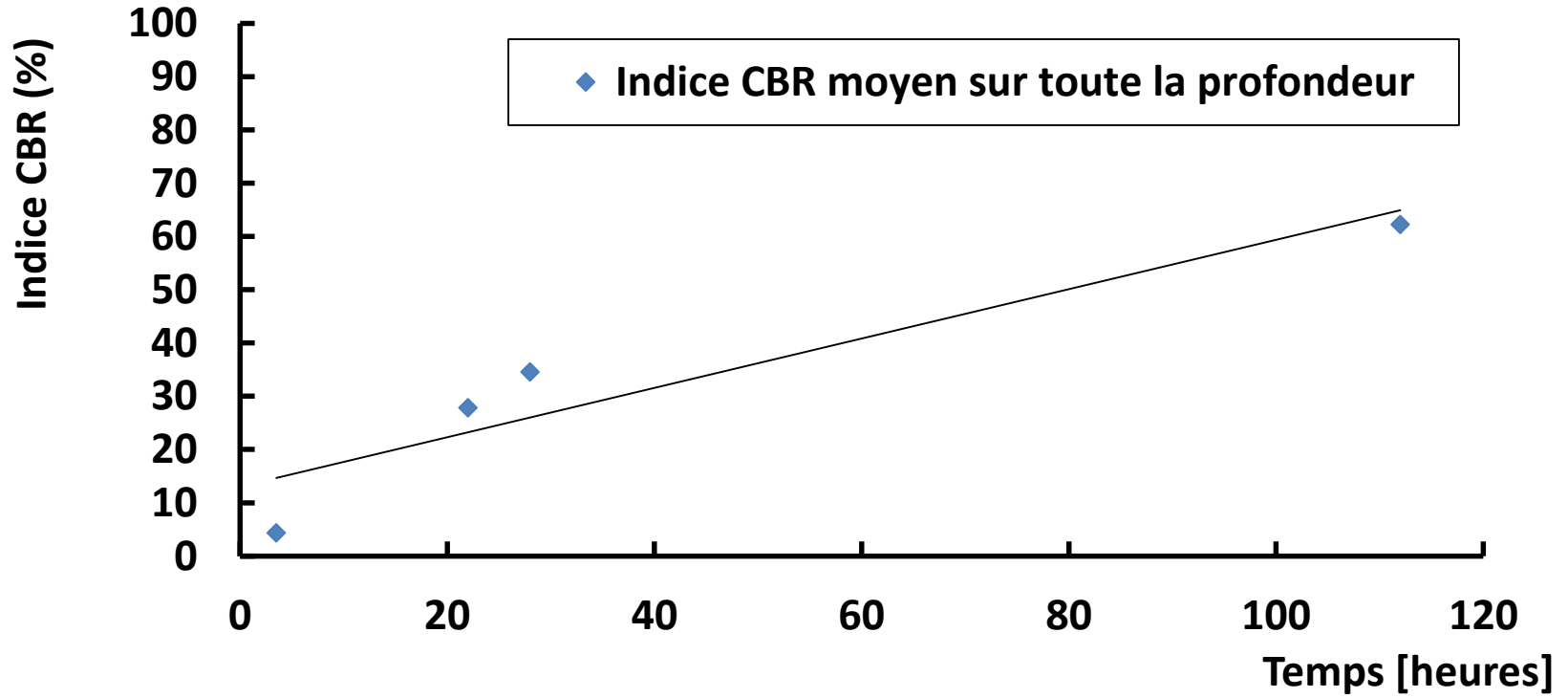
- Conversion en indice CBR
- Plus facile à interpréter

$$CBR = \frac{292}{IP^{1,12}}$$



- Le CBR moyen sur toute la profondeur est ensuite utilisé

ÉVOLUTION DU CBR MOYEN



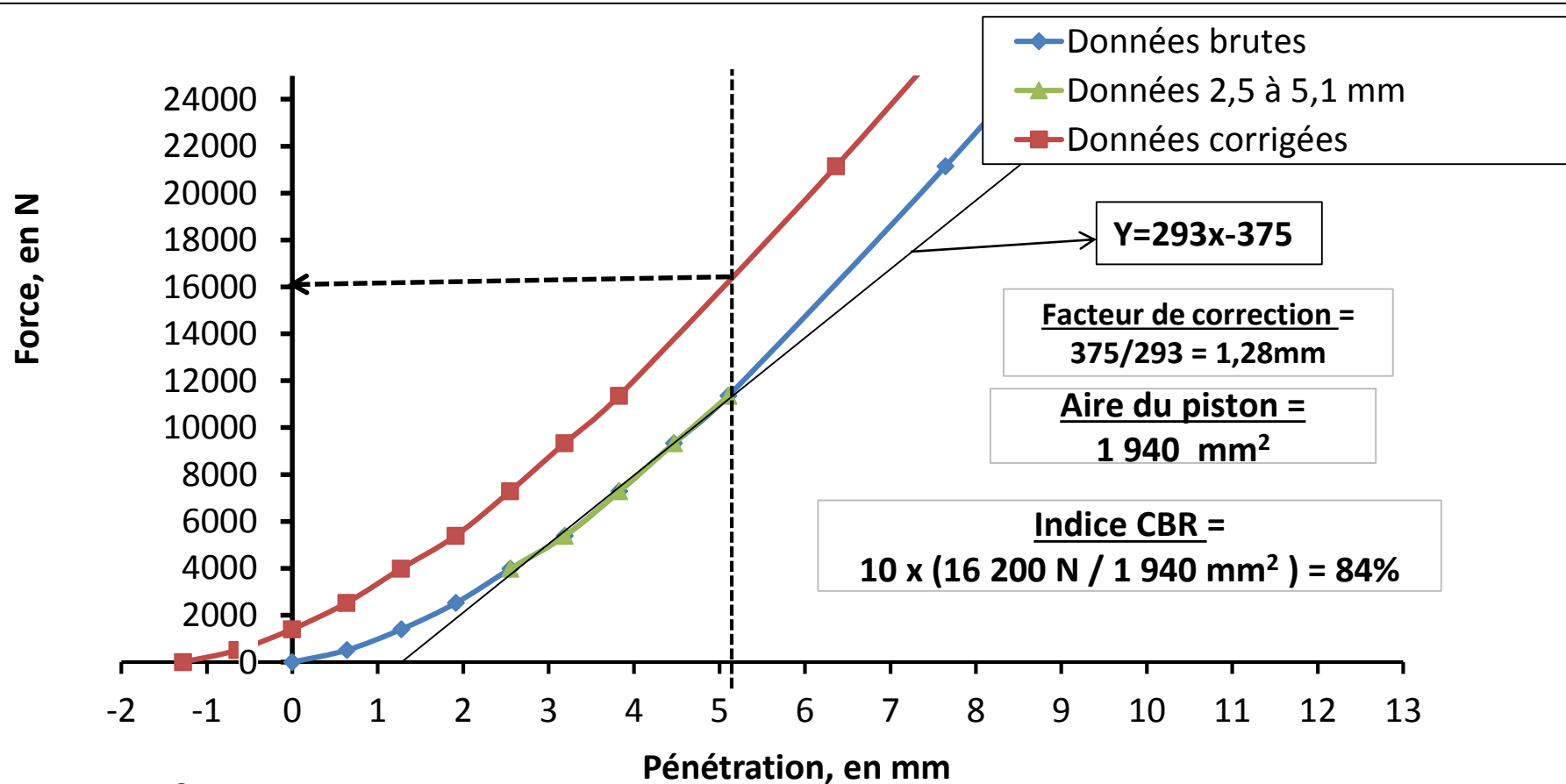
ESSAI CBR STANDARD

- L'essai CBR mesure la force nécessaire pour déformer le sol sous un piston de 50mm de diamètre.
- L'essai s'arrête à 13mm de déflexion.
- La courbe est corrigée pour tenir compte des imperfections.
- L'indice CBR est le rapport entre la pression de l'essai pour 5,1mm de déflexion et la valeur étalon de 1500 psi ($\approx 10\text{MPa}$) prescrite par la norme ASTM D1883.
- L'essai a été adapté au remblai sans retrait, car sa mise en place est différente des sols compactés mécaniquement et l'eau en excès doit pouvoir se drainer.

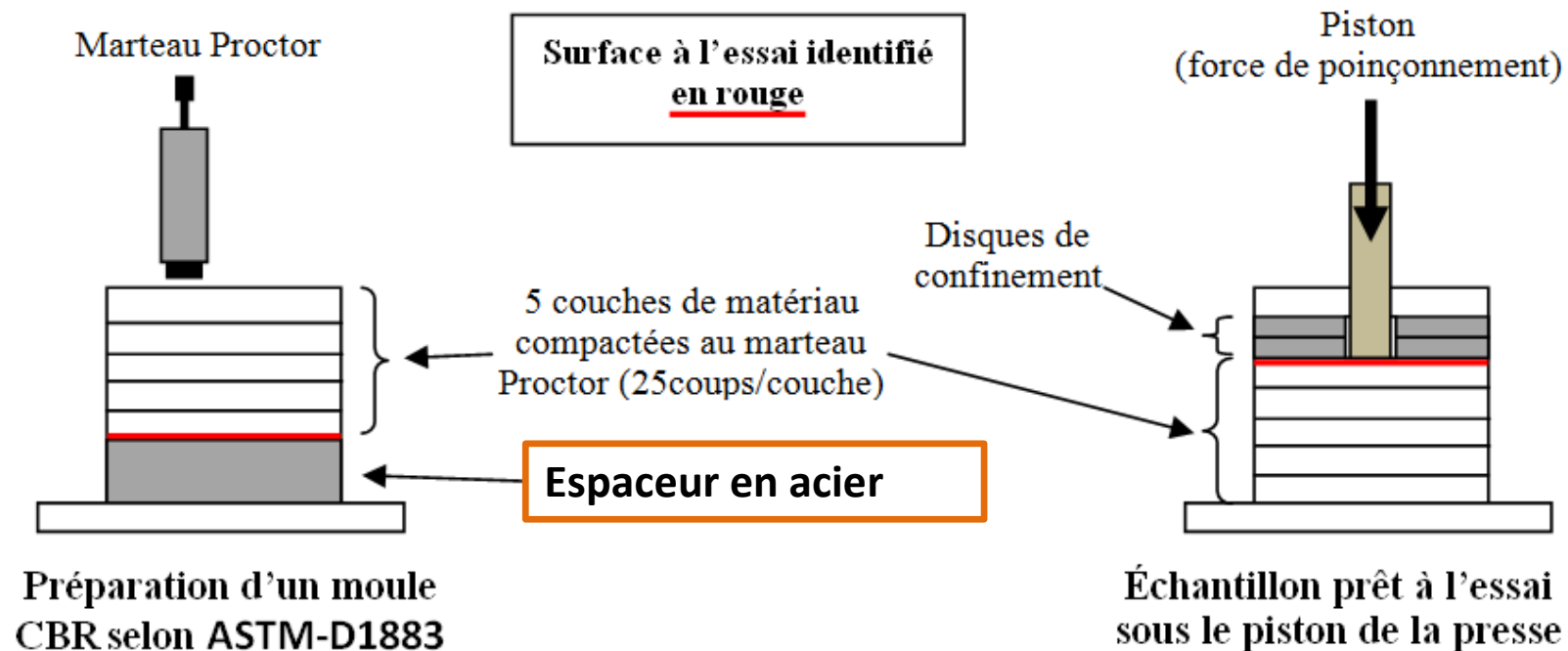
ESSAI CBR



ESSAI CBR (correction des données)



ESSAI CBR



ESSAI CBR



Surface du RSR après auto-compaction

- Affaissement de 1 à 5 mm
- Cette surface est le fond du moule durant l'essai



La force appliquée durant l'essai fait glisser le RSR, créant ainsi une erreur.

ESSAI CBR MODIFIÉ



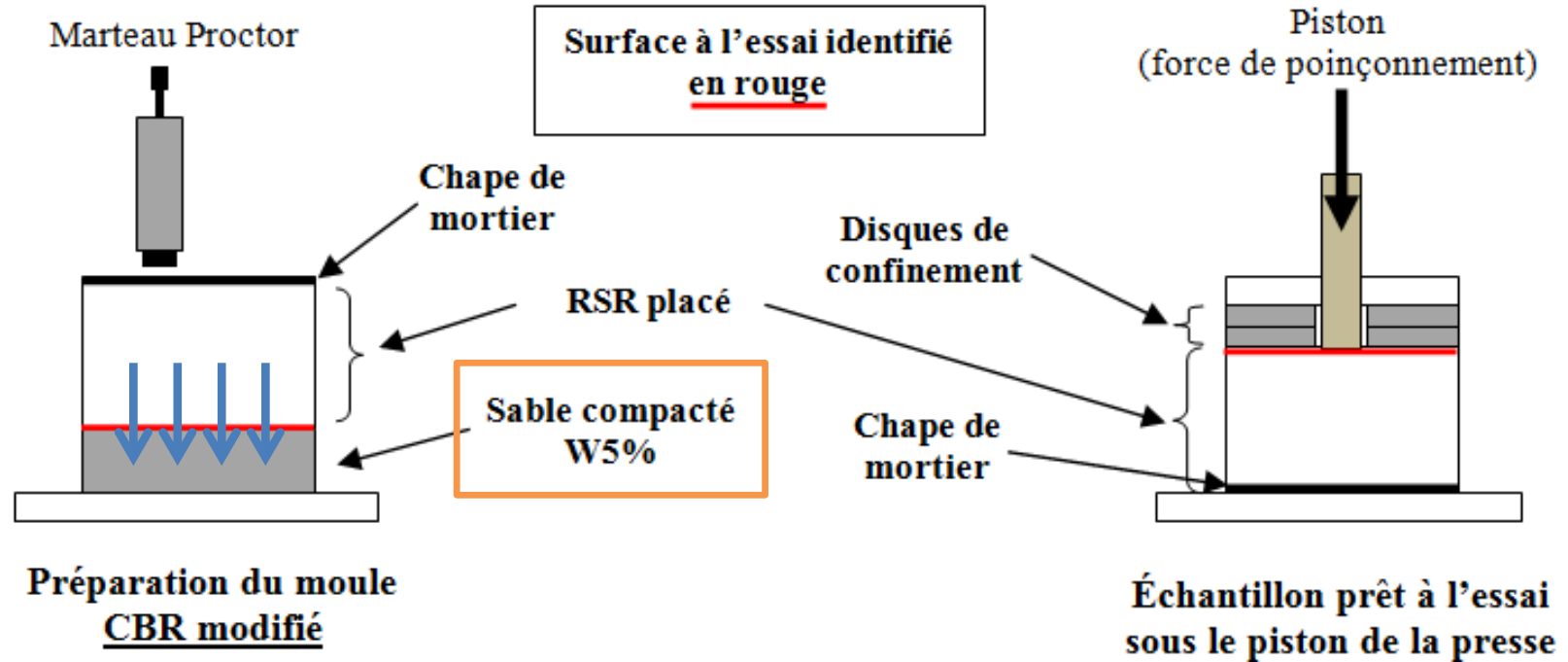
Chape de mortier à prise rapide



Moule complètement rempli par le mortier

- L'espaceur en acier est remplacé par du sable humide compacté.
- Permet de calculer précisément la quantité d'eau qui a été drainée hors du RSR.

ESSAI CBR MODIFIÉ



RÉSULTATS

Samuel Pothier

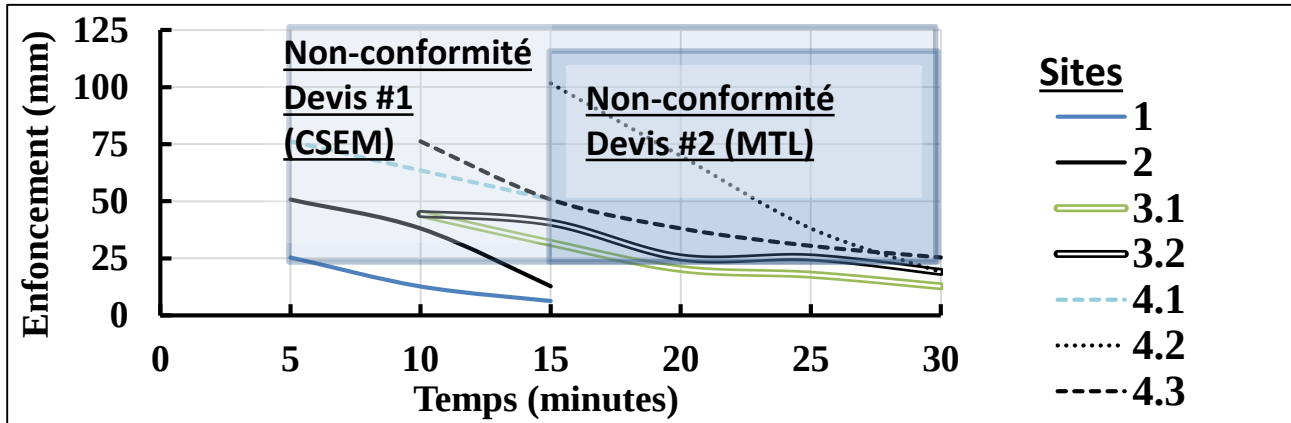


Le génie pour l'industrie

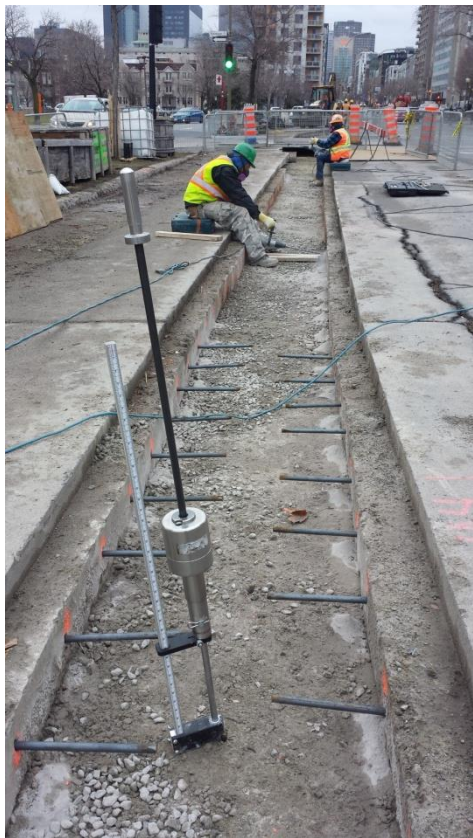


Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

BOULE KELLY



- Tous les sites se drainent relativement bien même s'il sont non-conformes selon les devis.
 - CSEM (enfoncement < 25 mm à 5 mins)
 - Ville MTL (enfoncement < 25 mm à 15 mins)
- La boule Kelly mesure bien la vitesse de drainage en surface.



PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE

Samuel Pothier

ÉTS

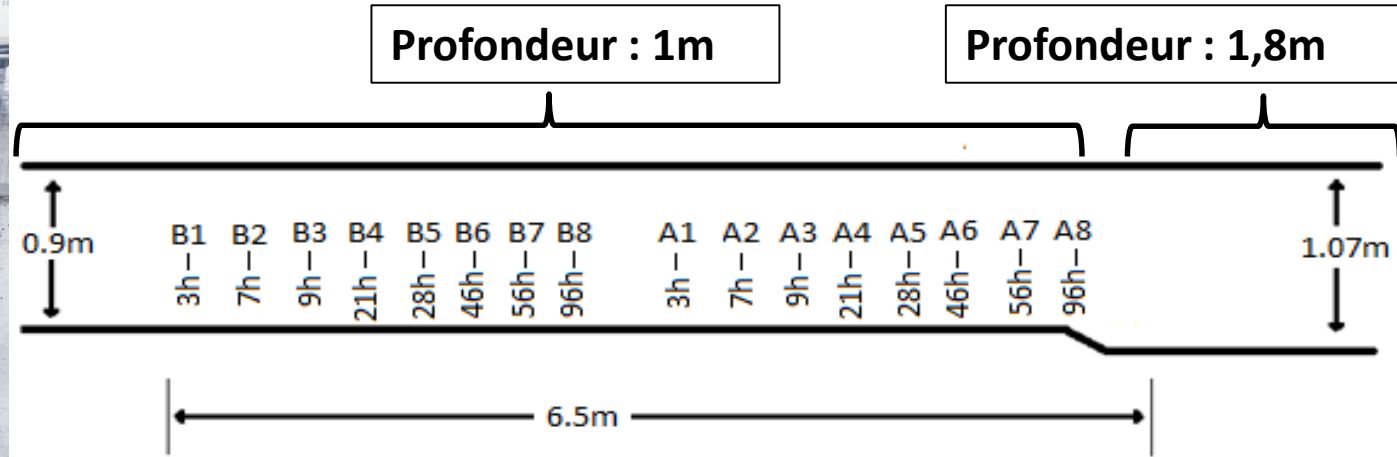
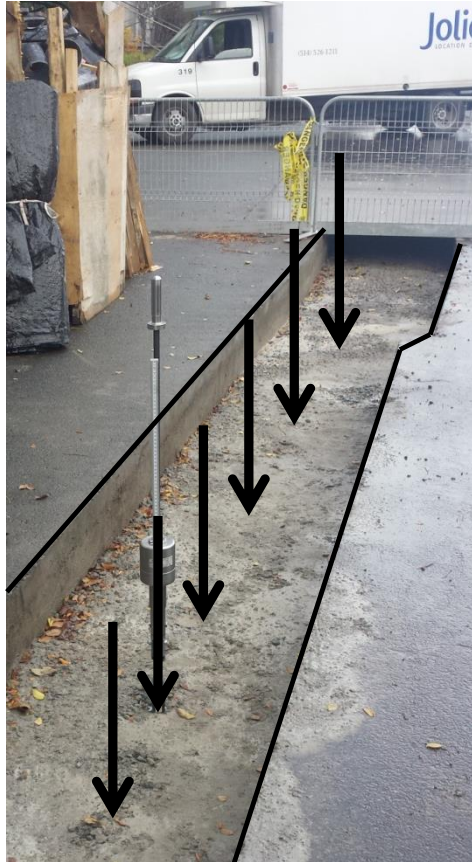
Le génie pour l'industrie

32



Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

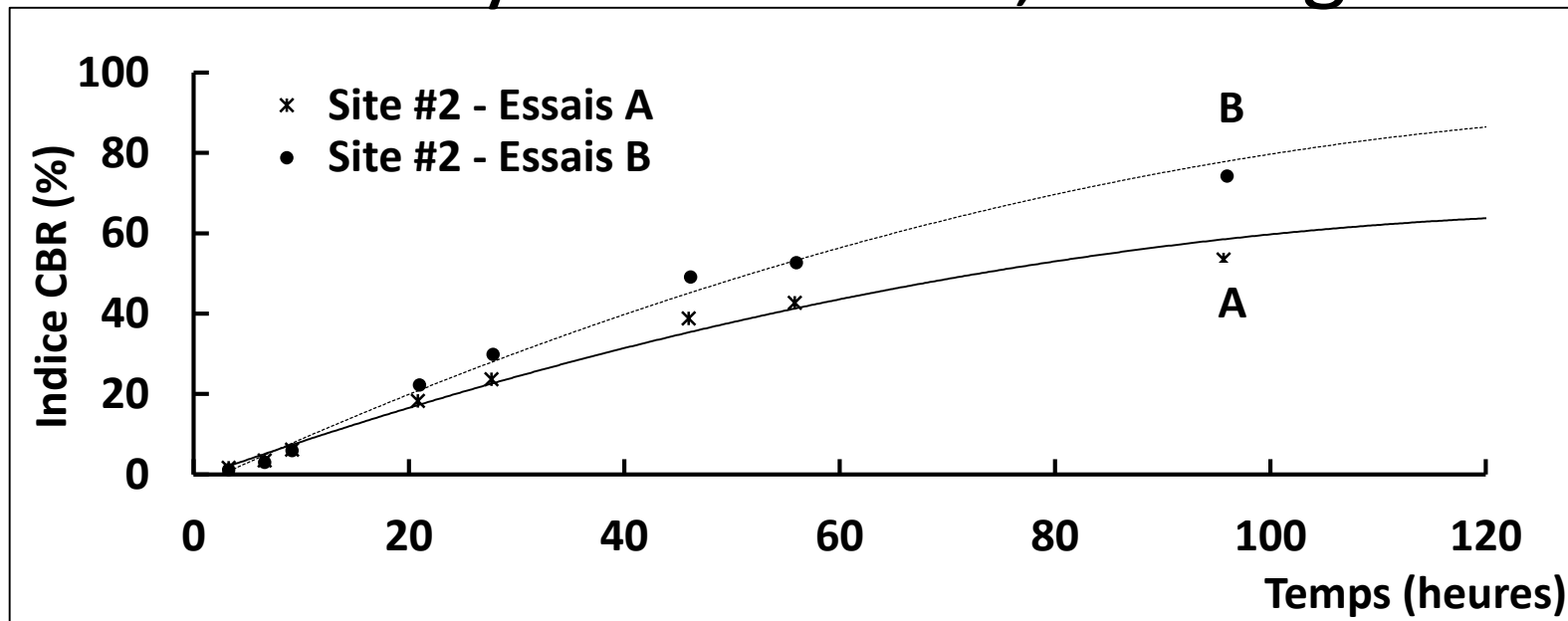
Patron d'essais du site #2, mélange A



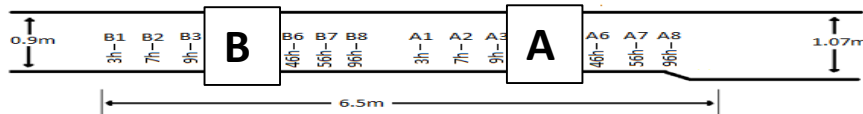
Mise en place

Écoulement de l'eau

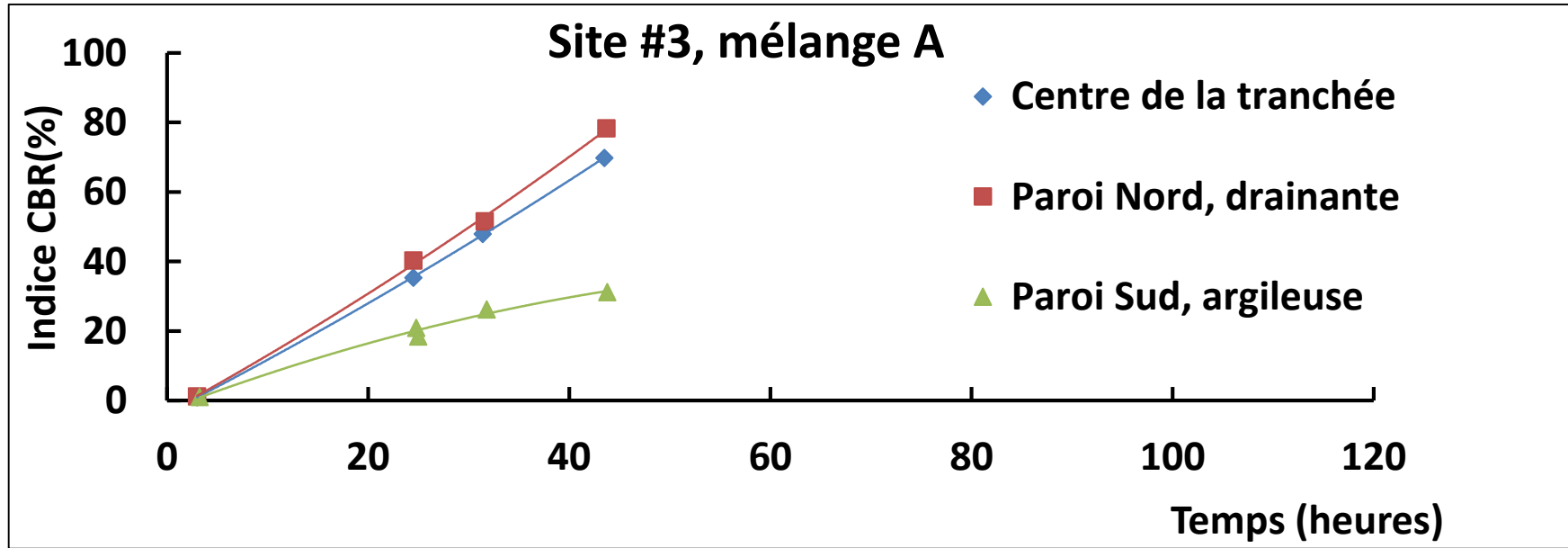
CBR moyen du site #2, mélange A



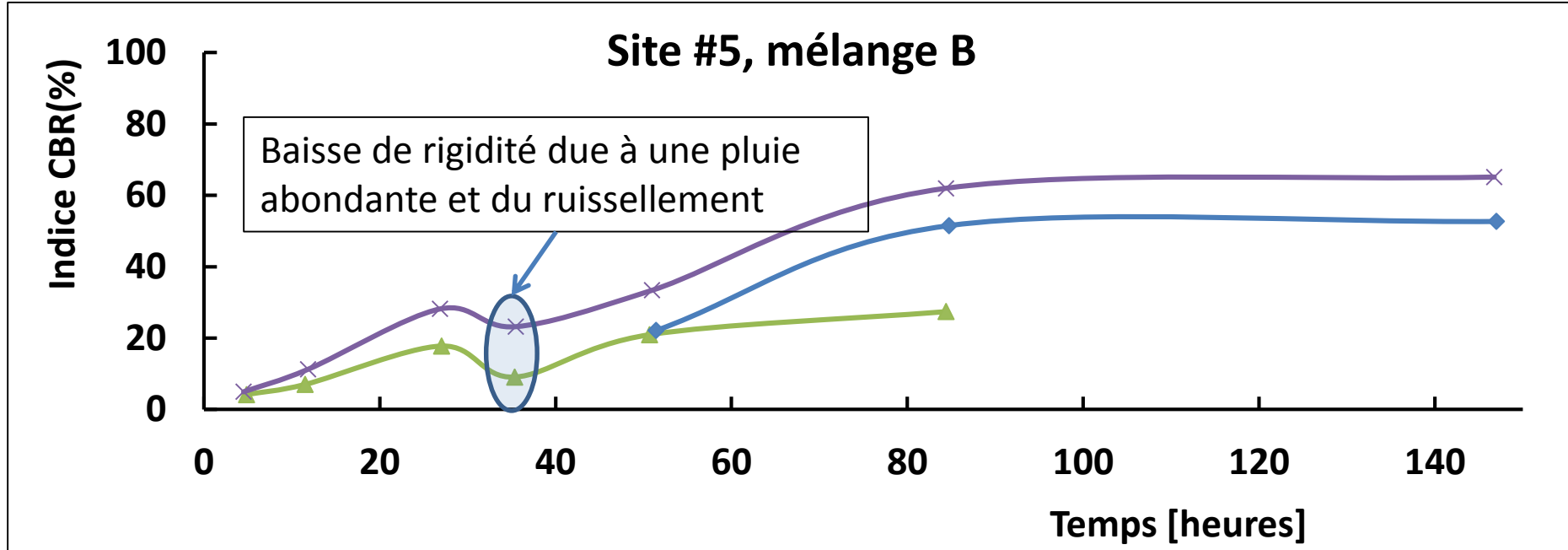
- L'eau de drainage a fait diminuer la rigidité des résultats de la série A.
- La capacité portante développée par la section A est en tout point inférieure à la section B.



Influence des sols encaissants



Influence d'une pluie



- Influence d'une pluie abondante sur la consolidation du mélange B autour d'un puits d'accès (P.A.)

Résumé des mélanges A et B

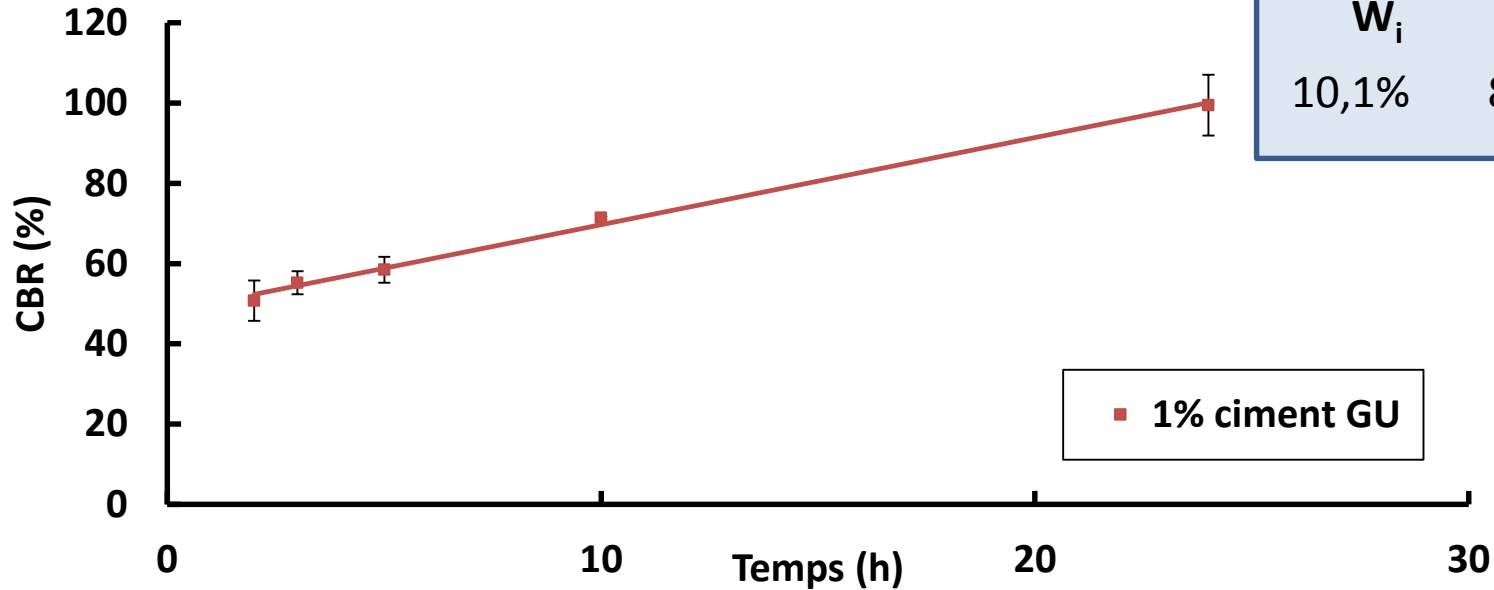
Indice CBR (%) mesuré au pénétromètre

<u>Mélange A</u>	Conditions défavorables	Moyenne	Meilleures conditions	Nombre d'essais
3h	1,0	$2,7 \pm 1,3$	7,1	27
24h	14,9	$32,7 \pm 12,7$	82,0	27

<u>Mélange B</u>	Conditions défavorables	Moyenne	Meilleures conditions	Nombre d'essais
3h	1,0	$3,8 \pm 1,8$	10,0	46
24h	12,6	$26,4 \pm 7,9$	48,8	38

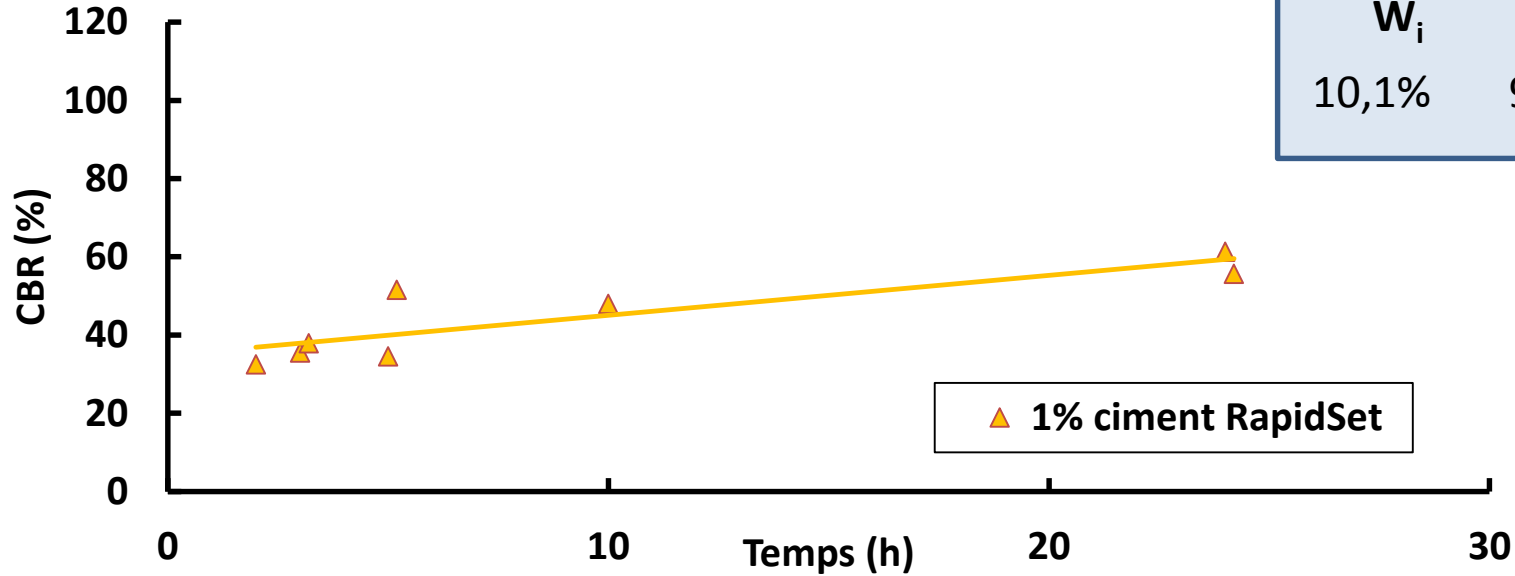
Essais capacité portante en laboratoire CBR modifié

CBR MODIFIÉ



- Pour cette figure, le mélange B a été réalisé 3 fois.
- 8 moules pour chaque gâchée.
- 24 essais de capacité portante au total.

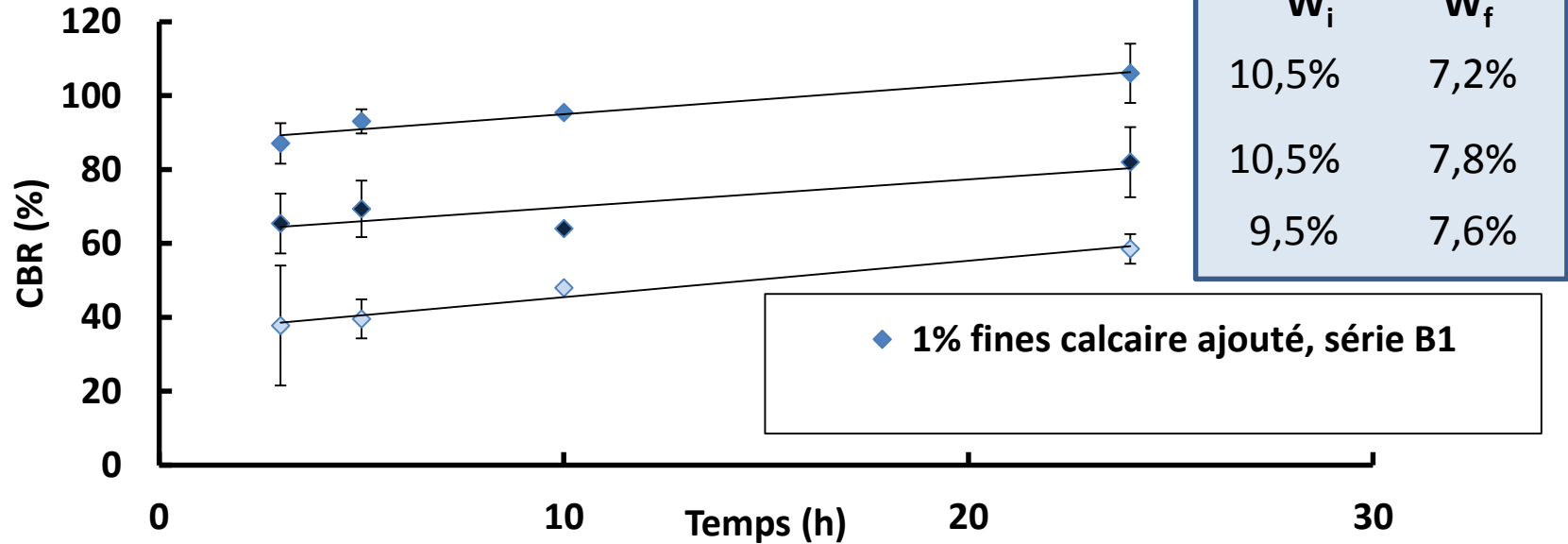
CBR MODIFIÉ



W_i	W_f
10,1%	9,5%

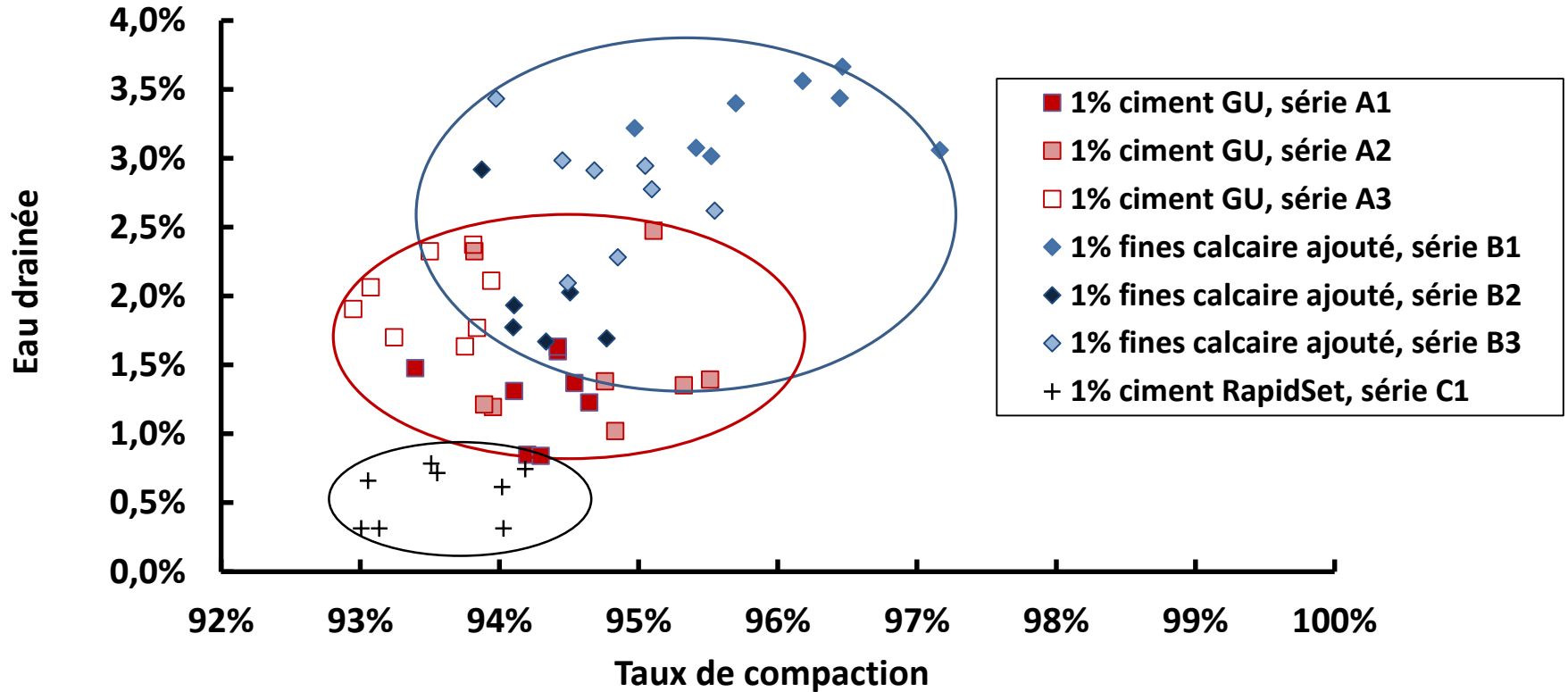
- Pour cette série, le ciment GU a été remplacé par du ciment *RapidSet*.
- Ce ciment réagit très vite avec l'eau.

CBR MODIFIÉ



- Pour cette série, le ciment GU a été remplacé par des fines calcaire.
- La mise en place est la même, mais la rigidité et les teneurs en eau varient.
- Compaction hydraulique

CBR MODIFIÉ



CONCLUSION

- La teneur en eau et le drainage du matériau jouent un rôle très important pour la cure et capacité portante.
- Le comportement d'un même matériau varie s'il est utilisé en laboratoire ou en chantier.
- Le labo produit des résultats dans des conditions idéales qui donnent des balises pour interpréter les résultats (performances) de chantier.

TEMPÉRATURE DANS LES REMBLAIS L'HIVER

Samuel Pothier



Le génie pour l'industrie



Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines



D ★

F ★

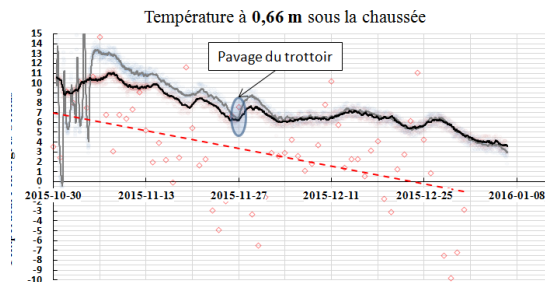
C ★

G ★

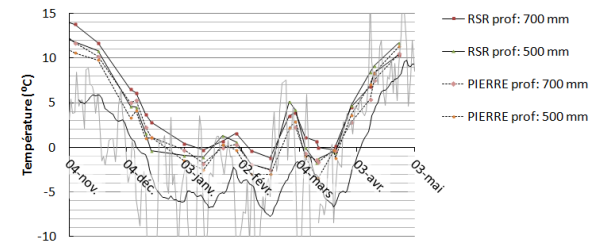
E ★

B ★

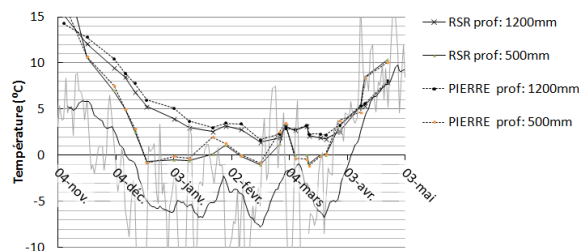
A ★



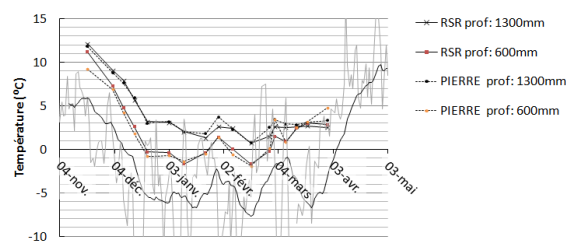
Site B, rue Mackay



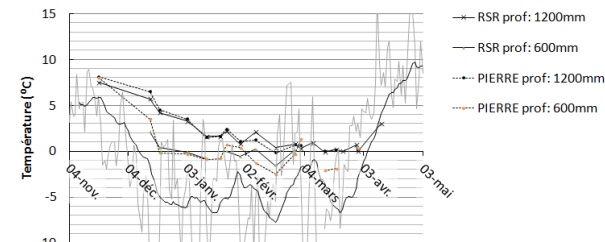
Site C, boulevard Maisonneuve



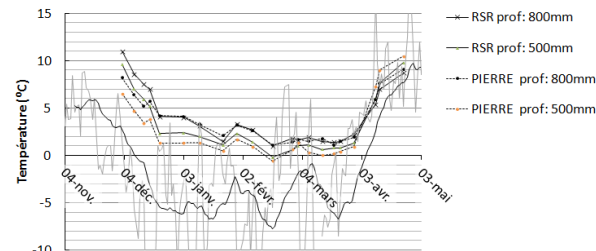
Site D, rue De Lorimier



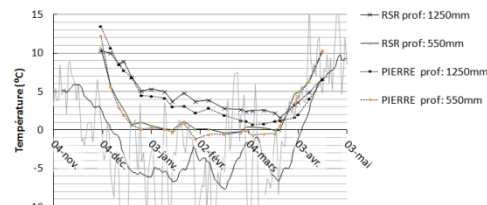
Site E, boulevard Saint-Laurent



Site G, rue Partenais



Site F, boulevard Vauquelin, Longueuil



TEMPÉRATURE DANS LES REMBLAIS L'HIVER

Conclusion

- Il n'y a pas de différence de profondeur de gel significative entre le RSR et la pierre compactée.

AUTRES ÉLÉMENTS DU PROJET

TRANCHÉES EXPÉRIEMENTALES

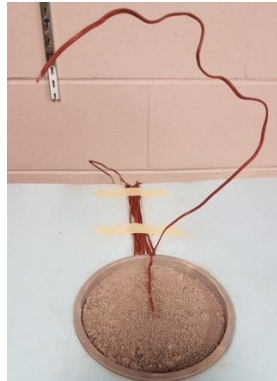


- 34m de tranchées expérimentales creusées et remplies avec Béton Mobile du Québec pour corréler le pénétromètre dynamique avec des échantillons de 200 litres.



ESSAI DE GEL EXTRÊME EN LABO

- Glace sèche en solution (-78°C)
- 50 échantillons
- 10 à 12h pour geler 200mm



REMERCIEMENTS

