

Technologie «Keyhole»

Pour la sécurité des travailleurs et l'intégrité des chaussées



Congrès INFRA 2014

Martin Binet, ing. Chargé d'ingénierie – Normes et réglementation

Pierre Lefèvre, ing. Chef de service – Ingénierie de conception

3 décembre 2014



Technologie «Keyhole»

Sommaire

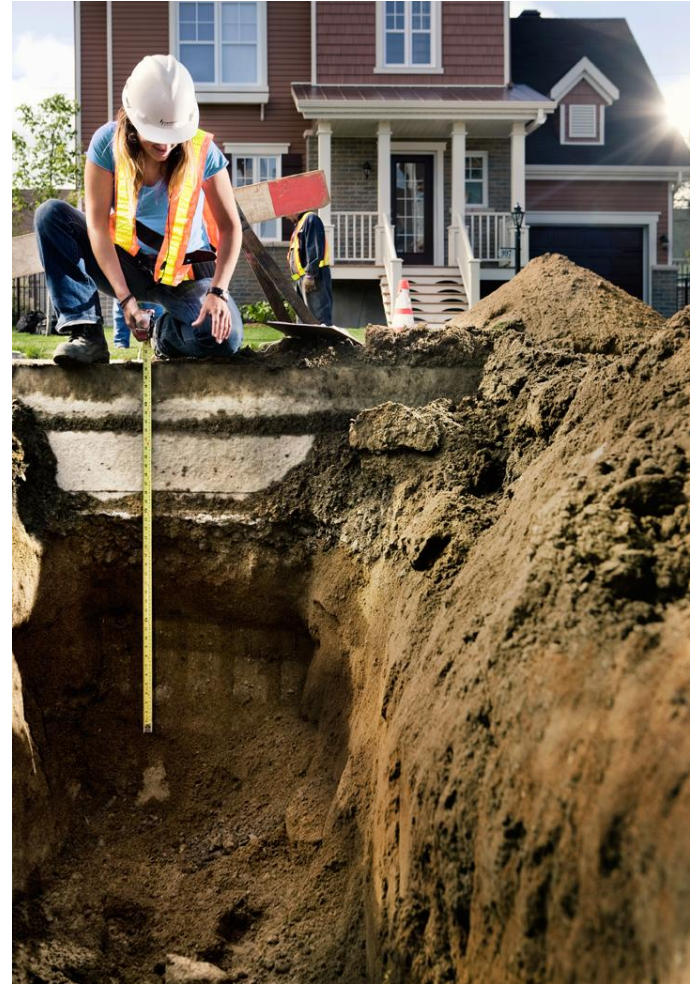
- ❑ Portrait de Gaz Métro
- ❑ Technologie «Keyhole» en bref
- ❑ Travaux en «Keyhole» chez Gaz Métro
 - Protection cathodique – Pose d’anodes
 - Abandon de branchement d’immeuble
 - Remise en état de la chaussée
- ❑ Évaluation de performance
- ❑ Questions



Portrait de Gaz Métro

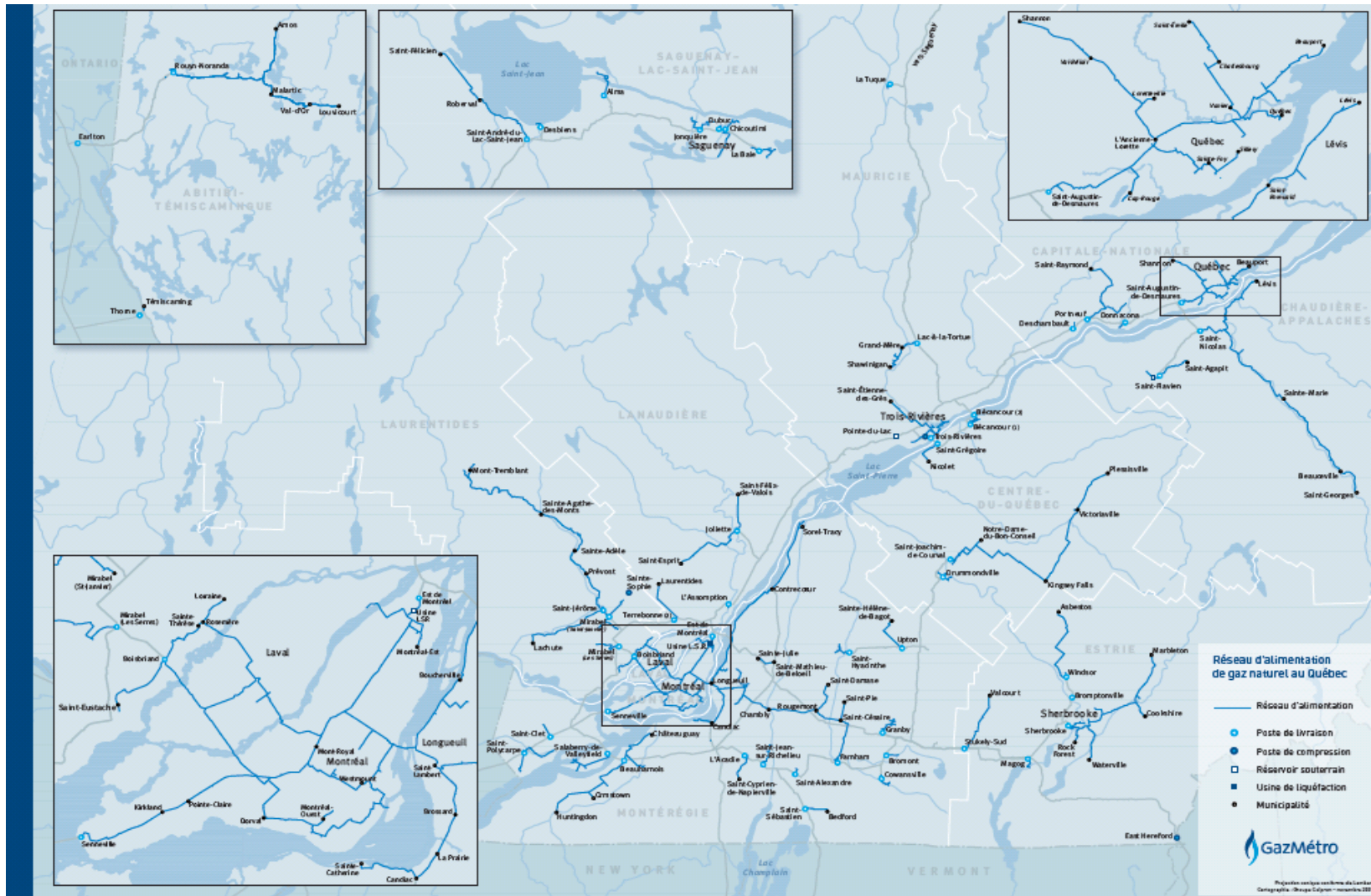


- ❑ Principal **distributeur** de gaz naturel au Québec
- ❑ Service public réglementé par la Régie de l'énergie
- ❑ 190 000 clients
- ❑ 300 municipalités desservies
- ❑ 1 400 employés



Portrait de Gaz Métro

Régions desservies



Portrait de Gaz Métro

Quelques données sur ses actifs



LES ACTIFS

Conduites 10 680 km

Polyéthylène 5 763 km

Acier 4 289 km

Polyéthylène inséré 619 km

Aluminium 9 km

Branchements d'immeuble 161 275

Polyéthylène 107 327

Acier 27 242

Polyéthylène inséré 26 703

Cuivre 3

Postes de livraison, détente, pré-détente, vannes et mesurage 2 233



Technologie «Keyhole» en bref



La technologie «Keyhole» est un processus d'excavation et d'intervention en haut de fouille, contrôlé avec précision pour accéder aux installations souterraines aux fins de localisation, d'inspection, de réparation, d'entretien et d'installation d'équipements de services publics avec l'utilisation d'outils spécialisés.

Ce processus comprend 4 grandes étapes:

1. Découpage circulaire du revêtement
2. Excavation par aspiration
3. Intervention sur l'infrastructure à partir du haut de fouille
4. Remblayage et remise en état de la chaussée

Technologie Keyhole

Historique - Gaz Métro



❑ Au début des années 90

- ❑ travaux en haut-de-fouille pour la réparation des réseaux en fonte en utilisant ses propres camions et ses propres outils.

❑ En 1994/95

- ❑ programme d'installation d'**Anode/Station de mesure** en haut de fouille en utilisant des partenaires externes détenant des camions d'excavation par aspiration.



❑ En 1998/99

- ❑ Poursuite du programme d'installation d'anode et introduction de la technique de découpage circulaire (coring) avec des partenaires externes détenant des camions d'hydro-excavation.



Technologie Keyhole

Historique – Gaz Métro



- ❑ **En 1999**
 - ❑ Fin du remplacement des réseaux en fonte.

- ❑ **Au cours des dernières années**
 - ❑ travaux en haut-de-fouille lors des poses d'anode sur ses réseaux en acier.

- ❑ **Avril 2013**
 - Améliorations de son programme de pose d'anode en haut-de-fouille.

 - Développement d'un nouveau programme d'abandon de branchement en haut-de-fouille.

- ❑ **Été 2014**
 - ❑ Début d'un partenariat avec le Gas Technology Institute (GTI).



Travaux en Keyhole

Gaz Métro



Projets

- Amélioration du programme - Pose d'anode
 - 300 à 400 poses d'anode en haut-de-fouille par année dont 50% dans les chaussées

- Nouveau programme - Abandon de branchement d'immeuble
 - 150 à 200 d'abandon de branchement d'immeuble par année
 - Tranchées ouvertes

Mandat

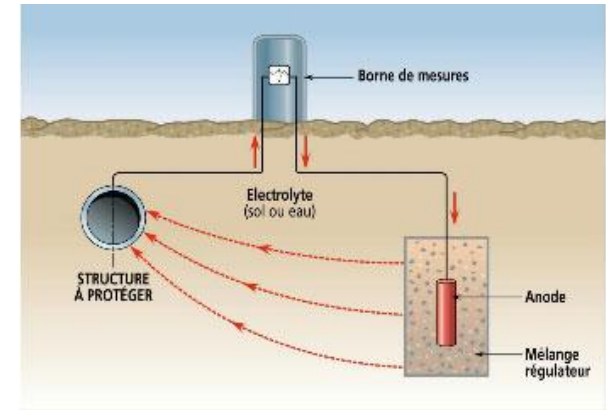
- Uniformiser les procédures de travail et l'outillage
- Améliorer la sécurité des travailleurs
- Améliorer la qualité et l'apparence des chaussées
- Récupération du coupon

Travaux en Keyhole

Pose d'anode



- Perche pneumatique
- Poignée pneumatique
- Meuleuse pneumatique
- Perche mécanique
- Cartouches de poudre à soudeuse aluminothermique
- Ignition électronique



Isolation des connexions facultative
(acier ou cuivre plus noble que l'anode)

Système de protection par anode galvanique



Travaux en Keyhole

Pose d'anode



Meuleuse électrique "maison"



Meuleuse pneumatique
KRAVITCH



Outil de brasage "maison"



Outil de brasage KRAVITCH



Travaux en Keyhole

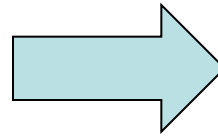
Pose d'anode



Compacteur électrique



Compacteur pneumatique



Travaux en Keyhole

Abandon de branchement d'immeuble



Mandat

- Réaliser des abandons de BI en Polyéthylène de $\frac{3}{4}$ pouce de diamètre
- Collaboration avec des partenaires de l'industrie
- Gestion du changement

Étapes franchies

- | | |
|---|----------------------------|
| 1- Acquisition des outils | Octobre 2012 |
| 2- Tests en laboratoire / Modification des outils | Octobre 2012 - Août 2013 |
| 3- Procédure de travail / Formation des techniciens | Septembre 2013 |
| 4- Tests en chantier / Modifications des outils | Sept. 2013 - Décembre 2014 |

Travaux en Keyhole

Abandon de BI – Principales étapes



A- Localisation



B- Découpage circulaire- 24 po



C- Coupon de 24 po



D- Hydro-Excav



E- Sectionnement du BI



F- Grattage du BI restant



Travaux en Keyhole

Abandon de BI – Principales étapes



G- Électro-fusion



H- Terminaison



I- Compaction



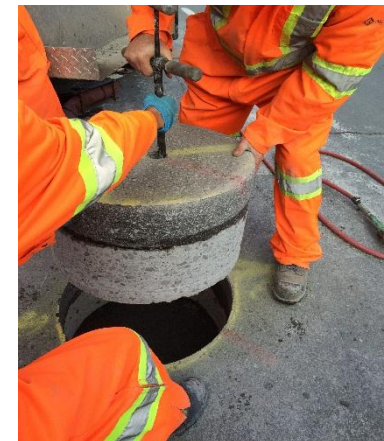
J- Plaque protectrice



K- Scellant Utilibond



L- Récupération coupon



Travaux en Keyhole

Résultat final



Travaux en Keyhole

Bilan



Bénéfices

Améliore la sécurité des travailleurs

- Aucun travailleur dans une tranchée
- Outils pneumatiques



Réduit le délai des entraves

- Aucun intervenant n'a à revenir sur les lieux



Améliore la qualité et l'apparence de la chaussée

- Scellant à haute-performance + coupon



Travaux en Keyhole

Bilan



Bénéfices - suite

- Contribue à favoriser les bonnes relations dans le monde municipal.



Travaux en Keyhole

Projets en développement



- Abandon de branchement d'immeuble de 1¼po et 2 po;
- Réparations diverses sur le réseau gazier;
- Installation de nouveaux branchements d'immeuble



Évaluation de performance

Étude de cas



Objectif

Évaluer les impacts sur la chaussée de 7 interventions réalisées en octobre 2013 par la technologie «keyhole» après un cycle gel-dégel

Projet

Mandater une firme experte indépendante (LVM) en auscultation de chaussée pour évaluer la performance par 3 types de relevés:

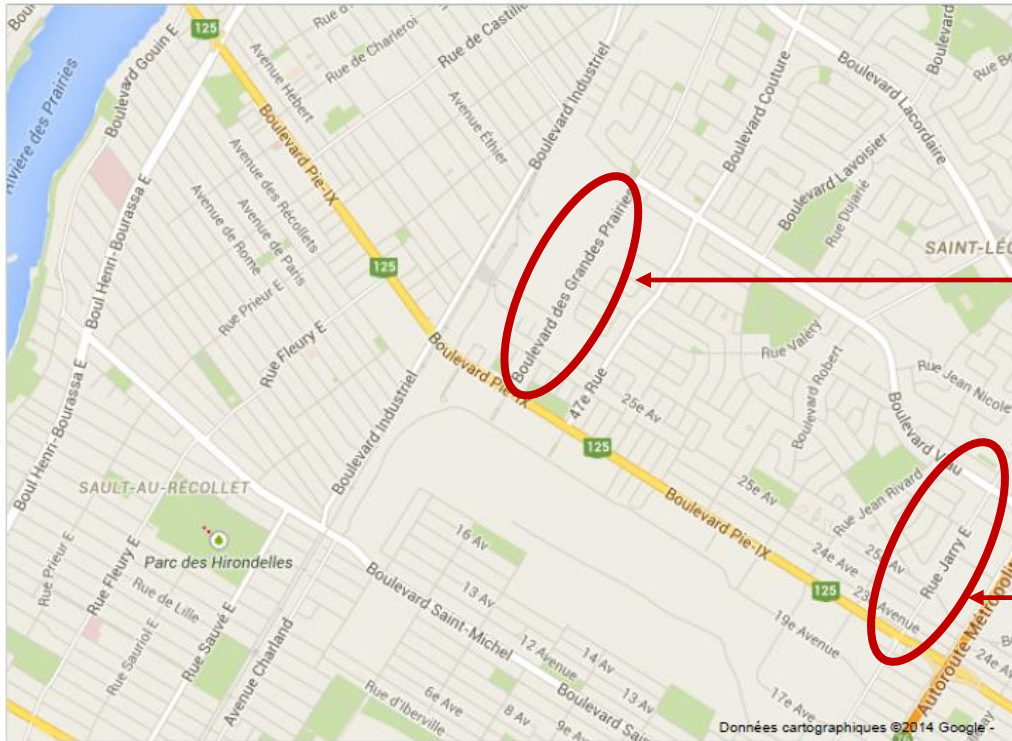
1. Relevé de la capacité structurale à l'aide du FWD
2. Carottage du joint pour 4 sites et essai de cisaillement
3. Relevés visuels

Évaluation de performance

Étude de cas



- ❑ 7 sites évalués à Saint-Léonard
- ❑ chaussées souples
- ❑ Évaluation sur site faite le 9 juin 2014

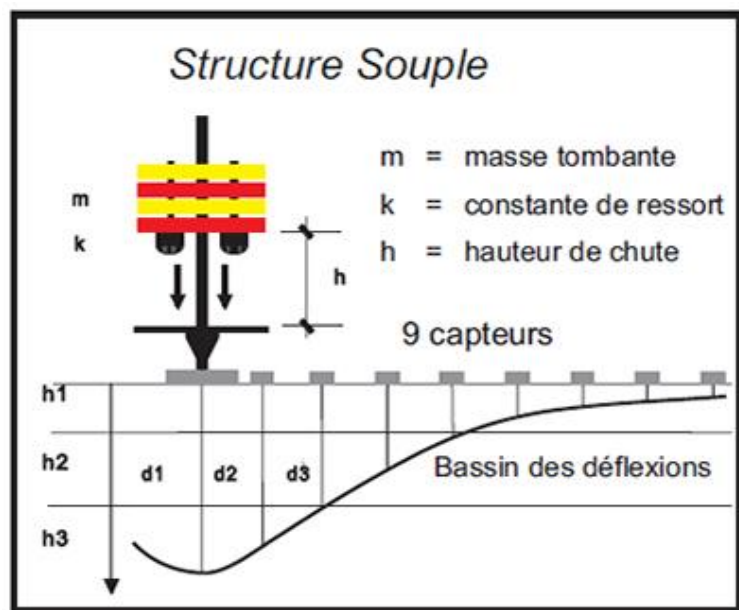


« KEYHOLE » N°	NO CIVIQUE
1	4460 de Grandes-Prairies
2	4516 de Grandes-Prairies
3	4572 de Grandes-Prairies

« KEYHOLE » N°	NO CIVIQUE
4	7984 de Ligneris
5	Jarry, sous Hydro-Québec
6	4659 Jarry
7	4695 Jarry

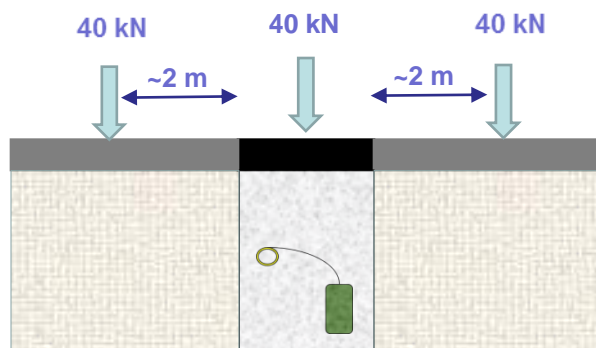
Évaluation de performance

Essai du déflectomètre à masse tombante (FWD)



DISTANCE ENTRE LE GÉOPHONE ET LE CENTRE DE LA PLAQUE DE CHARGEMENT (mm)

0	200	300	450	600	750	900	1200	1500
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------



- FWD simule le passage d'un demi-essieu de poids lourd (40 kN) à 70 km/h
- Enregistre déflexions à l'aide de géophones (capteurs)
- **Approche comparative:** chargement sur «keyhole» et sur 2 autres points de part et d'autre



Évaluation de performance

Résultats FWD mesurés par la firme LVM



Résultats des essais FWD réalisés le 9 juin 2014

B-0009094-1: Relevés de performance d'excavations de type keyhole

#	Indicateurs calculés à T= 30.5 Degrés Celsius											
	D0			SCI			D9			SN à 600 mm		
	Keyhole	Extérieur		Keyhole	Extérieur		Keyhole	Extérieur		Keyhole	Extérieur	
1	238	346	270	59	125	92	17.4	16.8	13.2	4.8	4.0	4.5
2	230	333	232	65	137	95	12.7	14.3	11.5	4.8	3.9	4.7
3	313	230	285	116	110	137	17.7	17.6	16.9	4.1	4.8	4.3
4	372	294	266	138	102	87	16.4	18.2	16.2	3.8	4.3	4.6
5	188	153	140	92	72	62	12.2	8.8	8.9	5.2	5.7	6.0
6	186	161	170	66	65	69	16.4	14.5	15.3	5.3	5.7	5.6
7	213	202	214	77	96	111	10.8	12.8	13.2	4.9	5.0	4.8
Moyenne:	249	235		88	97		14.8	14.2		4.7	4.8	
Écart-type:	69	66		30	25		2.8	3.0		0.6	0.7	

Les valeurs en vert présentent une plus grande rigidité sur le keyhole qu'à l'extérieur de celui-ci (10 % min).

Les valeurs en jaune présentent une plus faible rigidité sur le keyhole qu'à l'extérieur de celui-ci (10 % min).

Les valeurs en gris présentent une rigidité semblable sur le keyhole et à l'extérieur de celui-ci.

Source: rapport d'étude LVM division d'Englobe – Juillet 2014

D₀: Déflexion mesurée directement sous la plaque de chargement en μm

SCI: Indicateur de courbure de surface i.e. $D_0 - D_{300}$ en μm

D₉: Déflexion mesurée sous le 9^e géophone en μm

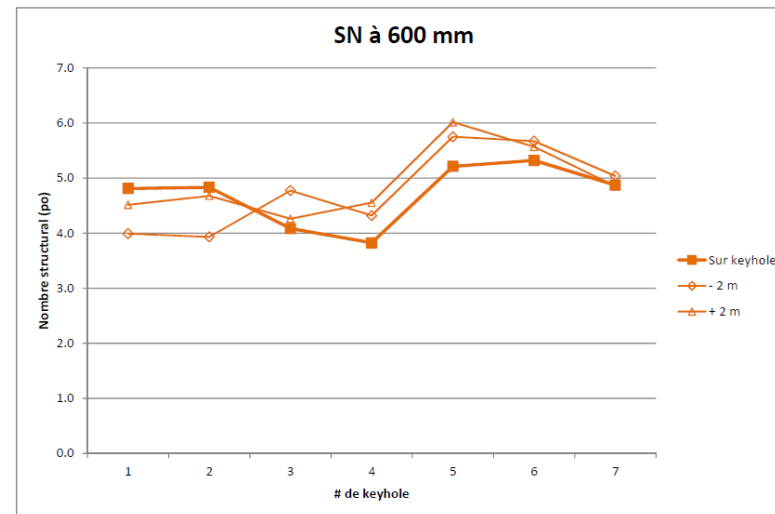
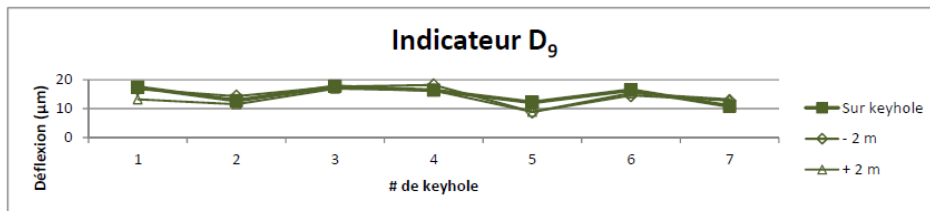
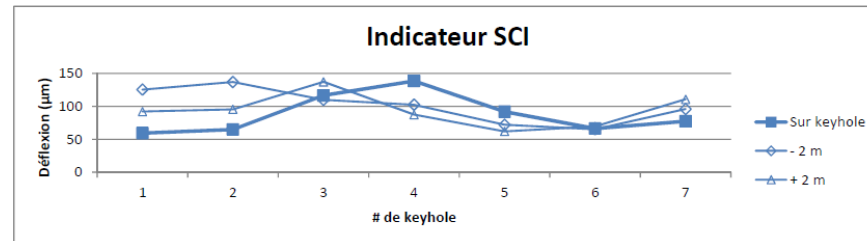
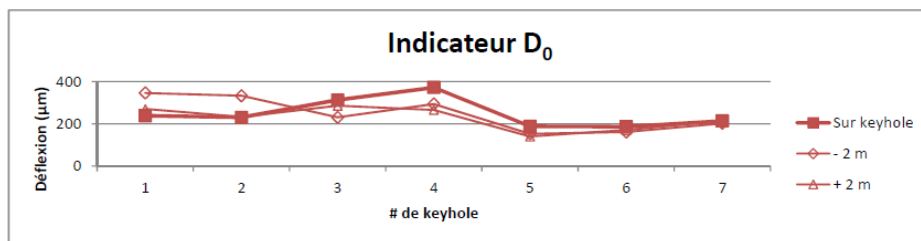
SN: Nombre structural exprimant la rigidité de la structure de la chaussée (600 mm)

Évaluation de performance

Résultats FWD mesurés par la firme LVM



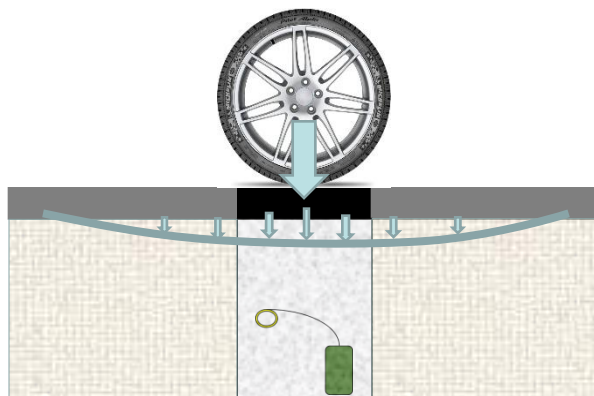
Comparaison graphique des résultats de l'essai FWD



Source: rapport d'étude LVM division d'Englobe – Juillet 2014

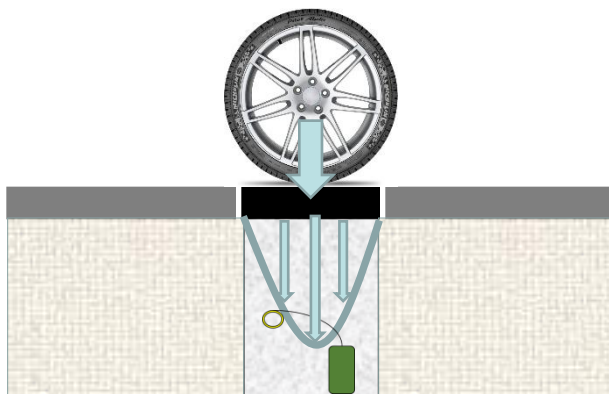
Évaluation de performance

Essai de cisaillement



Coupon de revêtement bien scellé

- Répartit la charge de circulation
- Limite les mouvements différentiels
- Minimise les infiltrations d'eau

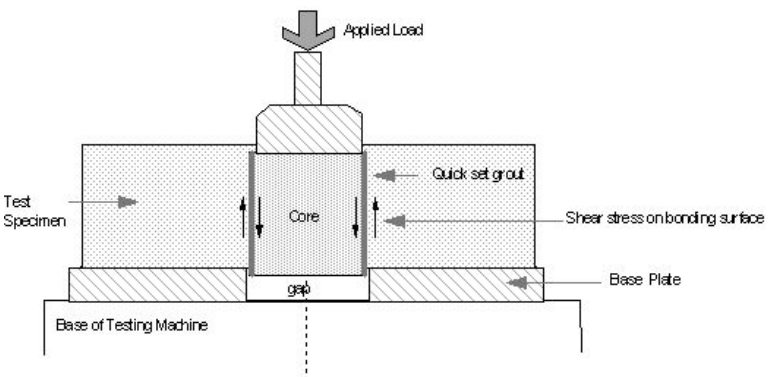


Coupon de revêtement mal scellé

- Concentre la charge de circulation sur le coupon
- Accentue les tassements sous le coupon
- Favorise les infiltrations d'eau
- Favorise la dégradation de la chaussée

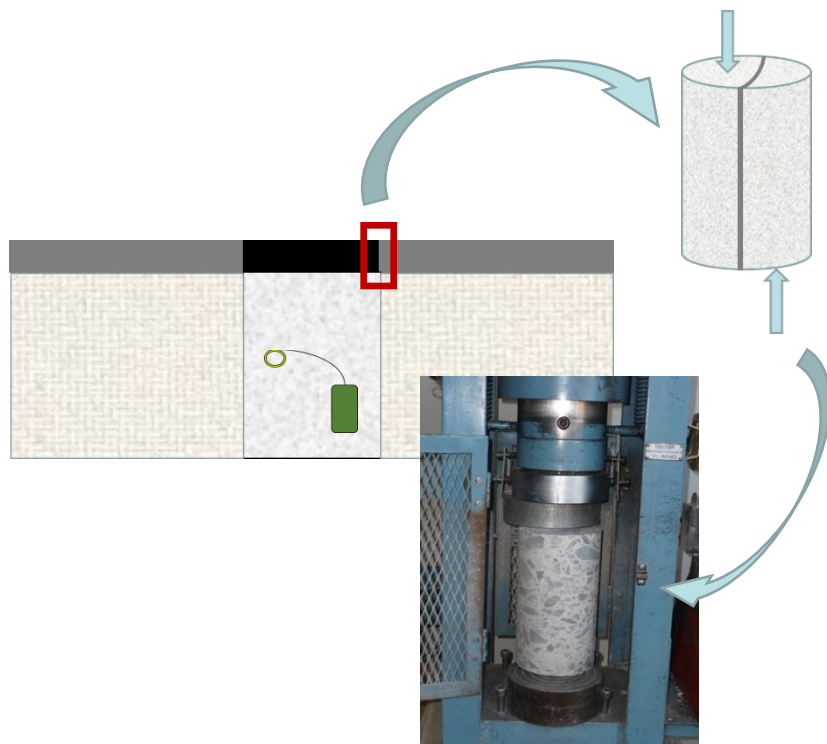
Évaluation de performance

Essai de cisaillement



Référence: «*Core Punch out test*»

- Essai de laboratoire non standard
- Utilisé par l'Université de l'Illinois
- Essai réalisé sur le joint de ciment Utilibond
- Résistance en cisaillement (T_r) de 4 à 5 fois la charge d'un demi-essieu AASHTO H-25 (44,5 kN) après une cure de 30 minutes



Essai de cisaillement par LVM

- 4 Carottes de 150 mm prélevées sur site
- Rupture d'une carotte sur 4 au prélèvement
- Presse à béton adaptée
- Essai réalisé sur le joint de ciment Utilibond
- (T_r) 3,4 à 4,5 fois la charge d'un demi-essieu AASHTO H-25 (44,5 kN) après un cycle gel-dégel

Évaluation de performance

Essai de cisaillement



Tableaux des mesures in situ et des résultats de l'essai de cisaillement

« KEYHOLE » N°	CAROTTE N°	ÉPAISSEUR D'ENROBÉ BITUMINEUX (mm)
1	C-1	160
2	C-2	165
4	C-3	160
6	C-4	155

CAROTTE N°	CONTRAINTES MOYENNE AU CISAILLEMENT REQUISE POUR LE KEYHOLE (kPa)	SURFACE D'ADHÉSION DU CIMENT SUR LA CAROTTE (m ²)	FORCE REQUISE POUR RÉSISTER À UN IMPACT DE PNEU CHARGÉ (N)	FORCE APPLIQUÉE LORS DE L'ESSAI (N)	FACTEUR DE SÉCURITÉ
C-1	298	0,017	5 066	17 437	3,4
C-2	189	0,024	4 536	20 595	4,5
C-3	Rupture de la carotte au niveau du joint lors du prélèvement				N/A
C-4	197	0,023	4 531	19 216	4,2

Source: rapport d'étude LVM division d'Englobe – Juillet 2014

Évaluation de performance

Constats



Il ressort de l'évaluation de performance que:

- ❑ Les résultats du FWD ne permettent pas de déceler des éléments menant à conclure à des impacts négatifs liés aux interventions en «keyhole» sur la capacité structurale de la chaussée
- ❑ Les essais de cisaillement montrent une résistance à la rupture du ciment Utilibond d'environ 4 fois la charge d'un demi-essieu d'un camion AASHTO H-25 (44,5 kN)
- ❑ 1 carotte sur 4 s'est toutefois rompue lors du prélèvement in situ, probablement en raison d'une mauvaise préparation de surface des parois
- ❑ Des mesures de surveillance et de contrôle doivent être assurées pour la mise en œuvre, notamment à l'étape de la remise en place du coupon
- ❑ Des mesures de précautions doivent être prises lors de mauvaises conditions climatiques (froid, précipitations, chaleur extrême)
- ❑ Malgré un nombre limité de sites évalués, les résultats portent à conclure que l'utilisation de la technologie «keyhole» est une avenue prometteuse en regard du maintien de l'intégrité des chaussées

Évaluation de performance

Constats en quelques images



Questions

