



Optimisation de la conception des fondations du pont Champlain

52^e Congrès et Salon des transports

2 au 5 avril 2017



Simon Grenier, ing., Ph.D. (SNC)
Marcel Martineau, ing., M.Sc.A. (SSL)
Louis D'Amours, ing., M.Sc.A. (SNC)
Thaleia Travarasrou, P.Eng., Ph.D. (Fugro)

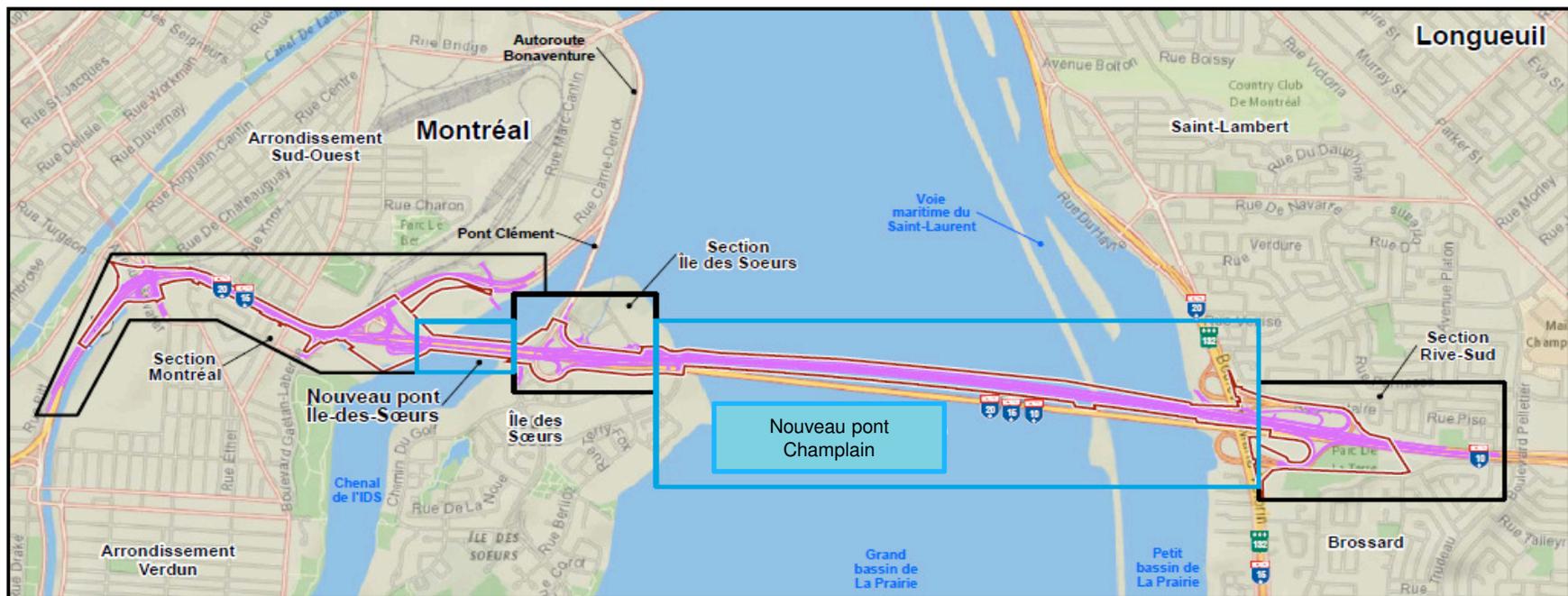
Plan de la présentation

1. Introduction
2. Description du projet
3. Investigations géotechniques
4. Résultats
5. Construction des fondations
6. Conclusion



1. Introduction

- L'un des **plus grands projets d'infrastructure** en Amérique du Nord
- Le projet consiste en:
 - Nouveau pont Champlain d'une longueur de 3.4 km
 - Nouveau pont de L'Île-des-Sœurs d'une longueur de 500 m
 - Amélioration des approches (A15 à Montréal et A10 à Brossard) sur 4.5 km



1. Introduction

Défis du projet

- Projet complexe de très grande envergure
 - Exigences élevées en matière de durabilité : 125 ans
 - Considérations environnementales importantes : eau, air et bruit
 - Conception en mode « fast track »
 - Milieu urbain
 - Travaux marins importants
 - Concept architectural prescrit
 - Accès difficiles
- Nombreux partenaires et intervenants : souci d'informer en amont pour bien collaborer et se coordonner



1. Introduction

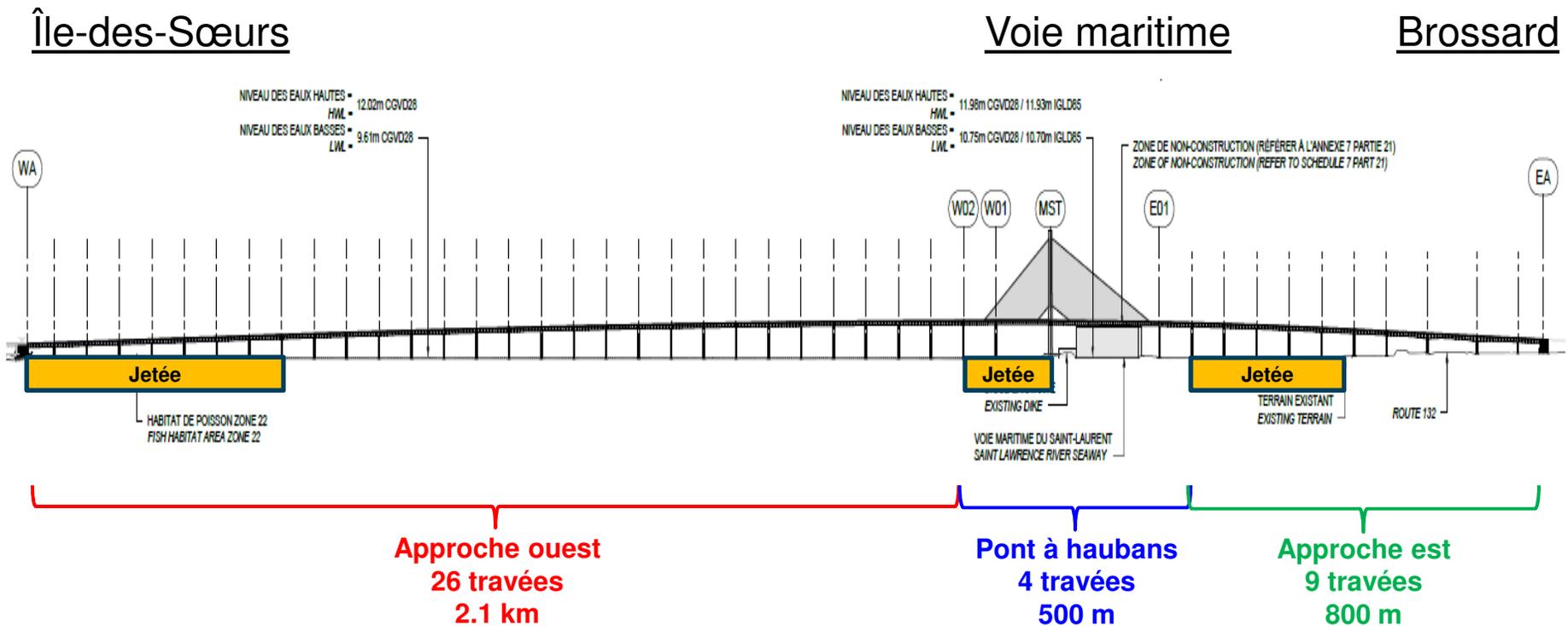
Défis des investigations géotechniques

- Campagne d'investigation pour le nouveau pont Champlain
 - Forages dans le fleuve et sur la terre-ferme
 - Conditions environnementales exigeantes
 - Accès difficiles
 - Échéancier contraignant (2 ½ mois)
- Collaboration de plusieurs intervenants (Canada, Voie Maritime, PJCCI, PEO, SSL, HQ, etc.)



2. Description du projet

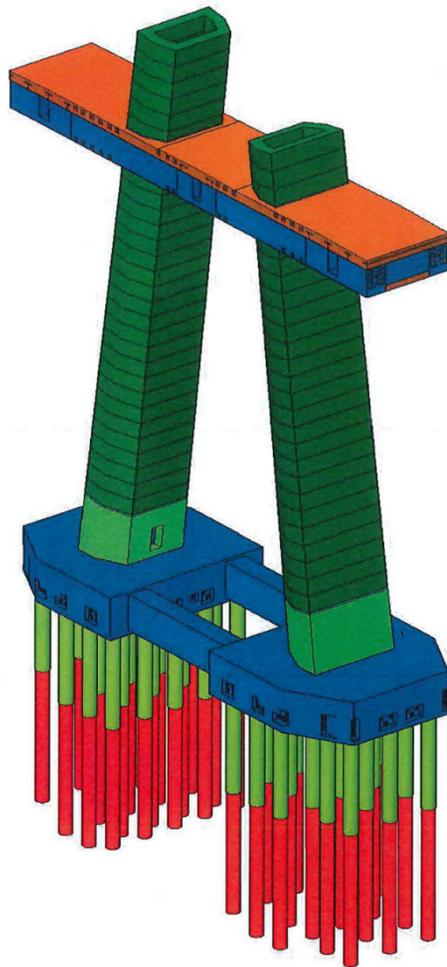
Nouveau pont Champlain



- Fondations des piliers et des culées
 - Caissons avec emboîture au roc : pont à haubans, piliers (Brossard) et culées
 - Fondations superficielles : piliers dans le fleuve

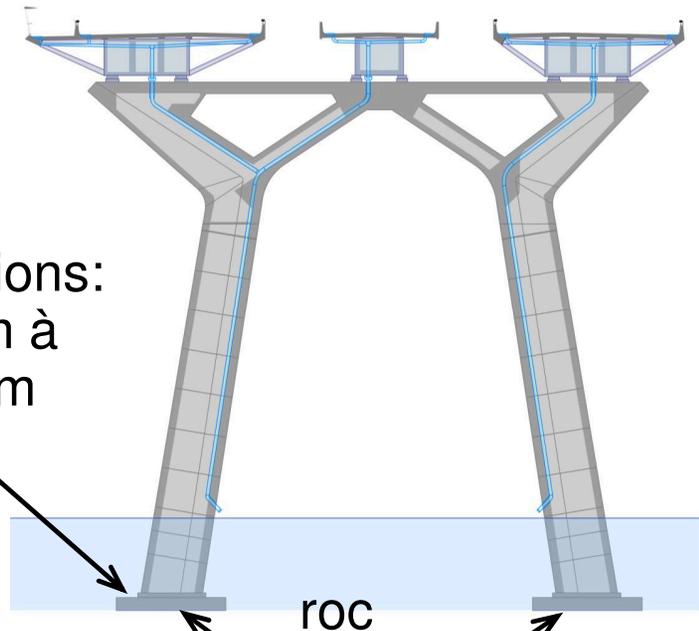
2. Description du projet

Fondations sur caissons



42 caissons
($\phi 1,2 \text{ m} \times 14,7 \text{ m}$)

Fondations superficielles au roc



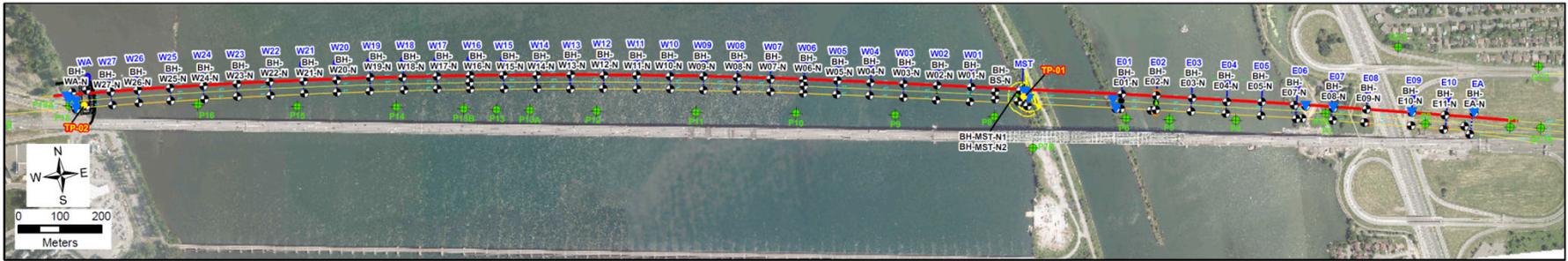
Dimensions:
8 x 10 m à
11 x 11 m

Nécessité d'obtenir un point
d'implantation fixe pour le
niveau des fondations



3. Investigations géotechniques

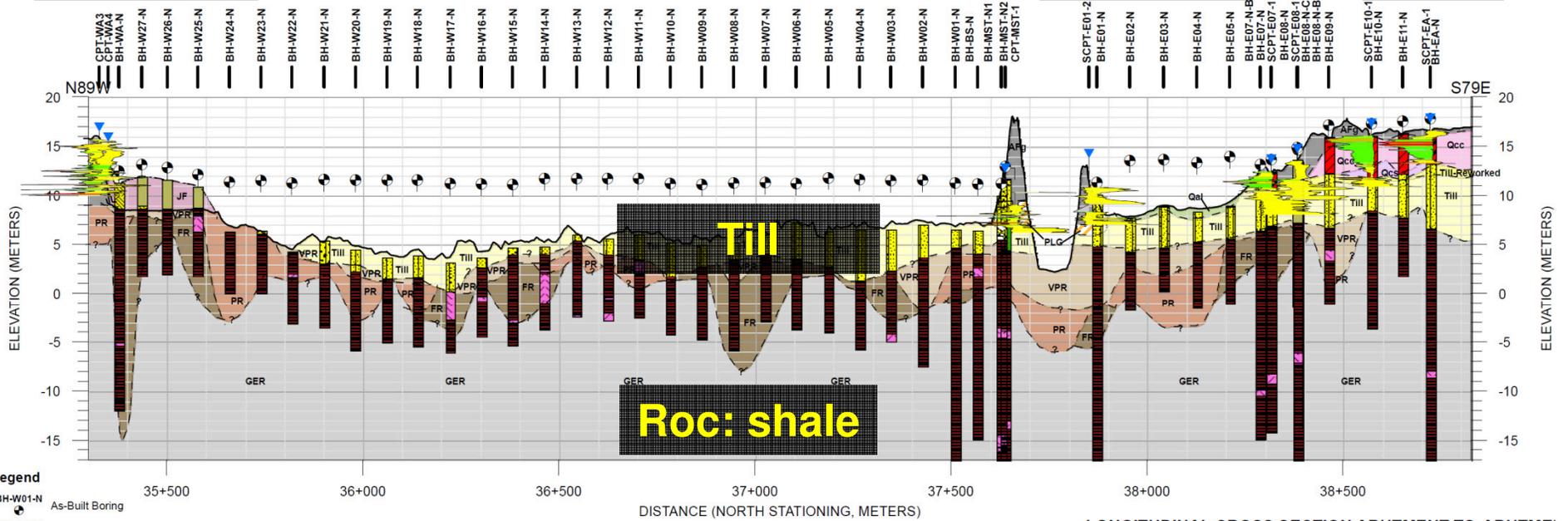
Géologie



Île-des-Sœurs

Voie maritime

Brossard



Roc: shale

- Legend**
- BH-W01-N As-Built Boring
 - CPT-MST-2 As-Built CPT
 - P7A Pre-Award 2014 Explorations
 - TP-01 Load Test
- Geologic Units**
- Artificial Fill (AFg)
 - Jetty Fill (JF)
 - St. Lawrence Alluvium (Gal)
 - Champlain Sea Deposits Fine Grain (Qcc)
 - Champlain Sea Deposits Coarse Grain (Qcs)
 - Glacial Till (Till)
 - Reworked Till (Till Reworked)
 - Potentially Liquefiable Granular Stratum (PLG)
 - Very Poor Rock (VPR)
 - Poor Rock (PR)
 - Fair Rock (FR)
 - Good to Excellent Rock (GER)

LONGITUDINAL CROSS SECTION ABUTMENT-TO-ABUTMENT
NORTH
new Champlain Bridge
Montreal, Canada

3. Investigations géotechniques

- Travaux de forage
 - 96 forages – 1600 m forés dans les sols et le roc
 - 62 forages dans le fleuve à partir de 3 barges
 - Jusqu'à 7 foreuses en opération simultanément
 - Jusqu'à 2 quarts de travail par jour, 6 à 7 jour/semaine
 - 66 relevés à la camera optique et acoustique
 - **Définir le coefficient de capacité portante K_{sp} du roc**
 - Carottier à paroi triple de calibre PQ3
 - **Établir avec précision le niveau du roc compétant**
 - Essais au dilatomètre dans le roc
 - **Module de la masse rocheuse**
 - 4 puits d'observation et d'échantillonnage de l'eau souterraine
 - **Corrosion et durabilité**



3. Investigations géotechniques

- Travaux de forage (suite)
 - 13 sondages au piézocône
 - 7 SCPT_u
 - 6 CPT_u
 - **Liquéfaction des sol**
 - 6 diagraphies sismiques (Down Hole Test) dont 2 dans le fleuve
 - **Catégorie d'emplacement sismique**
- Travaux d'arpentage
 - Implantation et nivellement



3. Investigations géotechniques

- Travaux en laboratoire
 - Roc : shale
 - Point load tests
 - Description structurale
 - Essais d'abrasivité Cerchar (**forage des caissons**)
 - Poids volumique
 - Résistance à la compression avec ou sans mesure du module E
 - Cisaillement direct (**résistance au cisaillement**)
- 2 essais O-CELL (cellule Osterberg) pour les caissons
 - Pilier central du pont à haubans
 - **Déterminer la résistance en compression en pointe du roc**
 - Culée ouest à l'Île-des-Sœurs
 - **Déterminer la résistance en frottement le long du fût**



4. Résultats

Caractérisation approfondie du roc

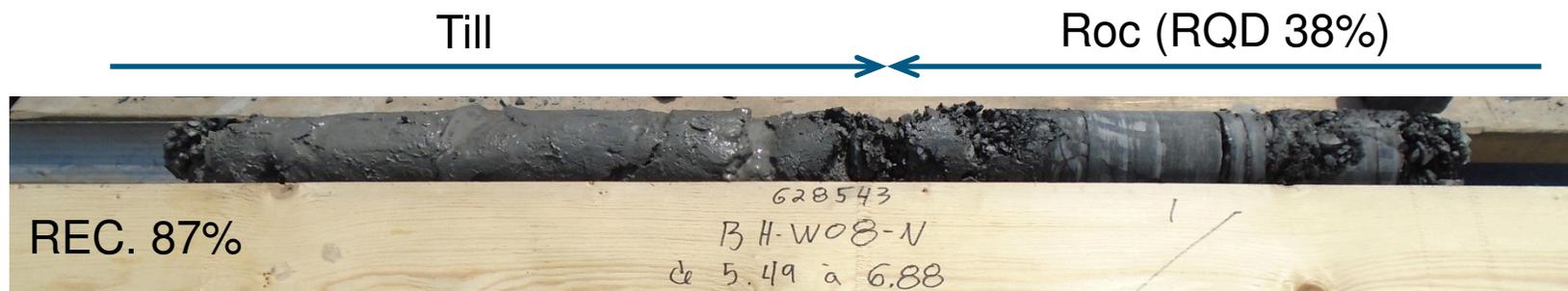
- Profondeur et lithologie du roc, présence d'intrusions
 - Qualité (RQD) du roc
 - Localisation, espacement et orientation des joints
 - Coefficient de capacité portante K_{sp}
 - Résistance à la compression uniaxiale ($q_u = 14$ à 38 MPa)
 - Module d'Young (E) et coefficient de Poisson (ν)
 - Poids volumique
 - Résistance du roc pour caisson (pointe et fût)
 - Résistance au cisaillement (ϕ')
 - Courbe P-Y du roc (charge latérale sur caisson)
- Forage PQ3 géocaméra
- Laboratoire Dilatomètre
- O-Cell tests
- Laboratoire



4. Résultats

Carottier PQ3

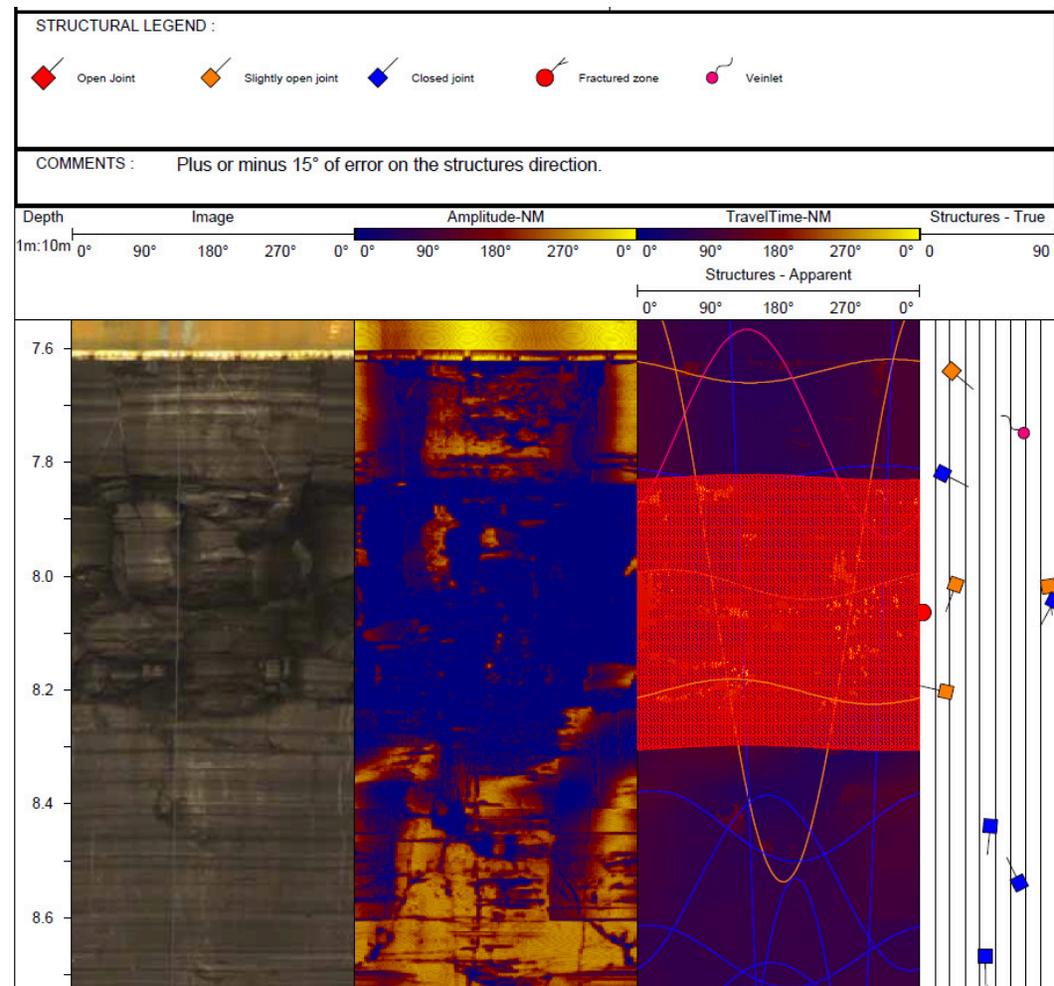
- Objectifs et retombées
 - Optimiser la récupération et la qualité des carottes de shale
 - Définir le niveau du roc
 - Définir l'épaisseur de roc altéré
 - Établir avec précision le niveau du roc compétant



4. Résultats

Caméra optique et acoustique (géocaméra)

- Objectifs et retombées
 - Optimiser l'évaluation structurale du roc compétent
 - Localiser les joints, leur inclinaison et leur ouverture
 - Évaluer le coefficient de capacité portante K_{sp} (0.07 à 0.27)

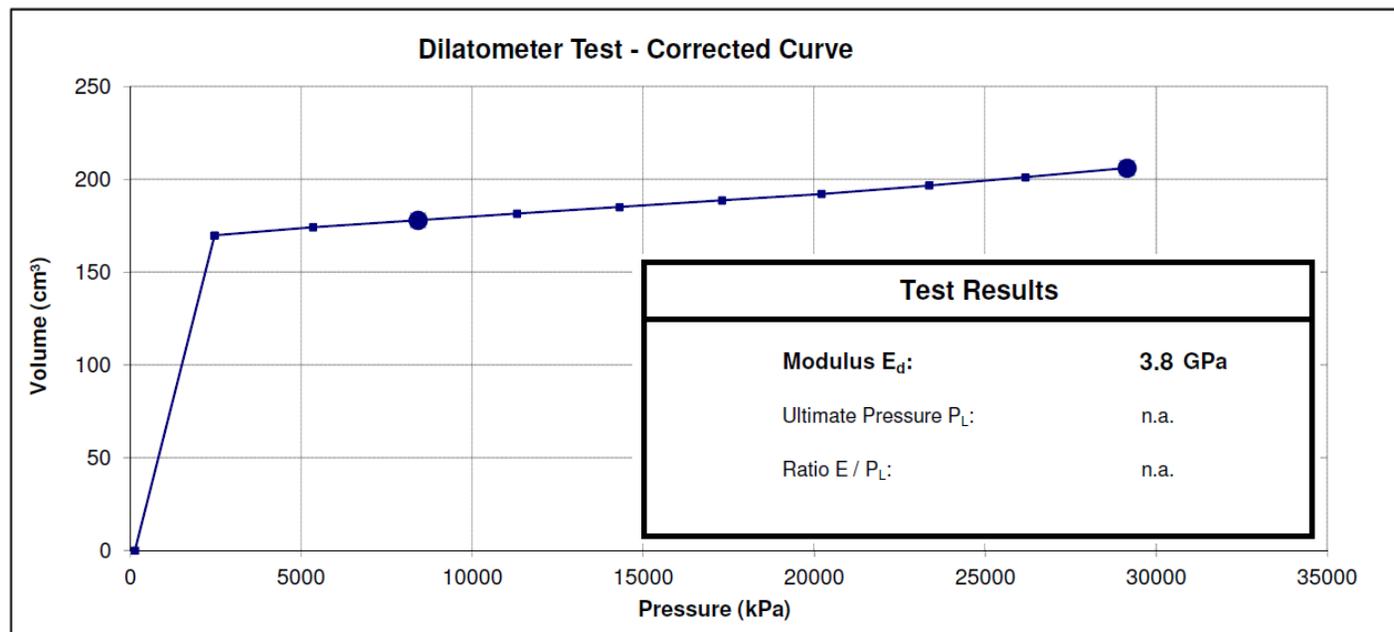


4. Résultats

Essais au dilatomètre

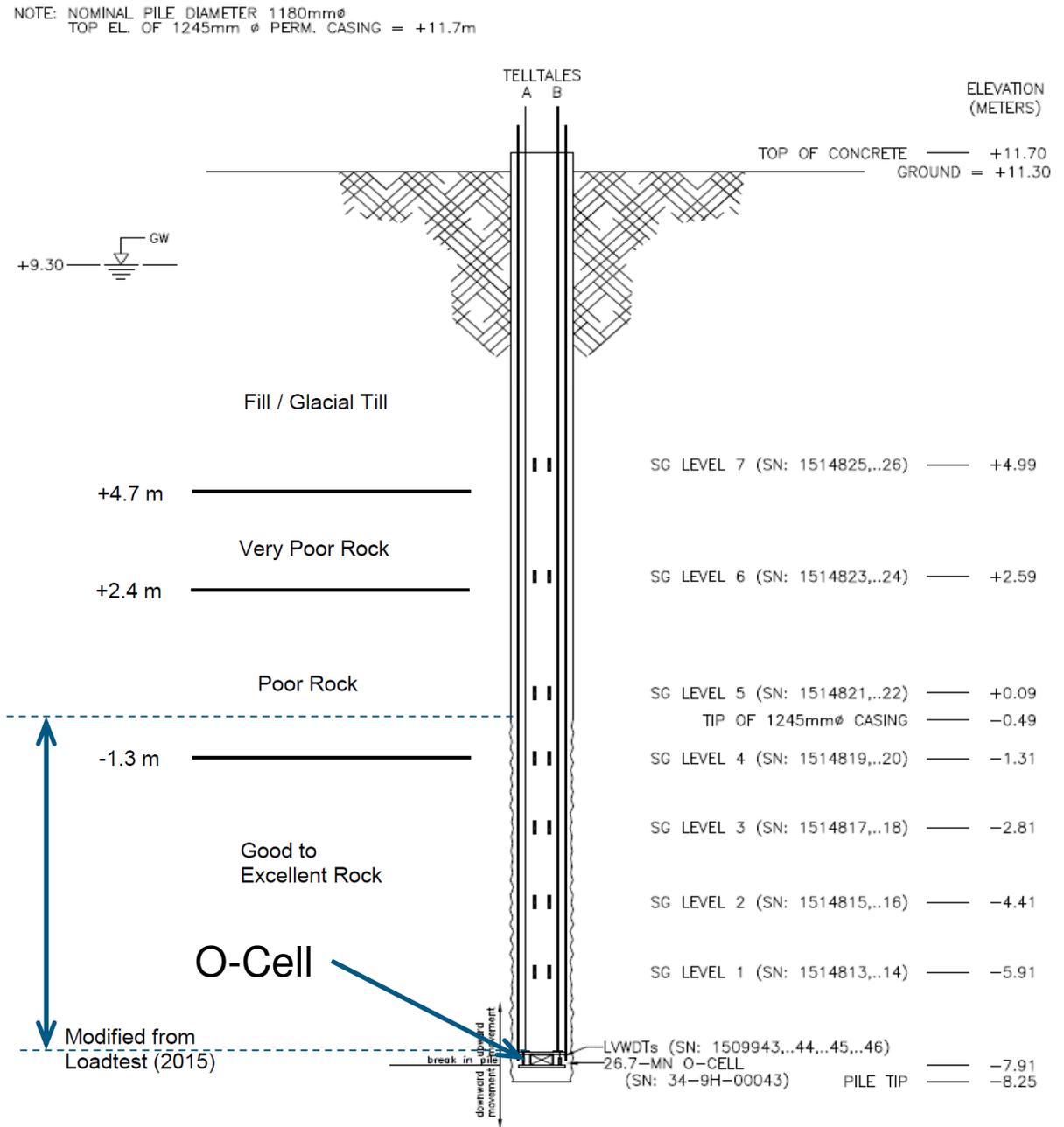
- Optimiser l'évaluation du module de la masse rocheuse comparativement au module du roc intact dans le shale de qualité bonne à excellente
 - E - Dilatomètre : 3,2 à 10,8 MPa
 - E - Laboratoire : 4,3 à 16,1 MPa

Forage : BH-MST-N2
Profondeur : 23 m



4. Résultats O-Cell tests

- Optimiser la conception des caissons



SCHEMATIC SECTION OF O-CELL TEST PILE AT MST (LOADTEST, 2015)



4. Résultats

O-Cell tests

Résultats au pilier principal

- Optimiser la capacité en pointe (20 à 30% au lieu de 10%) :

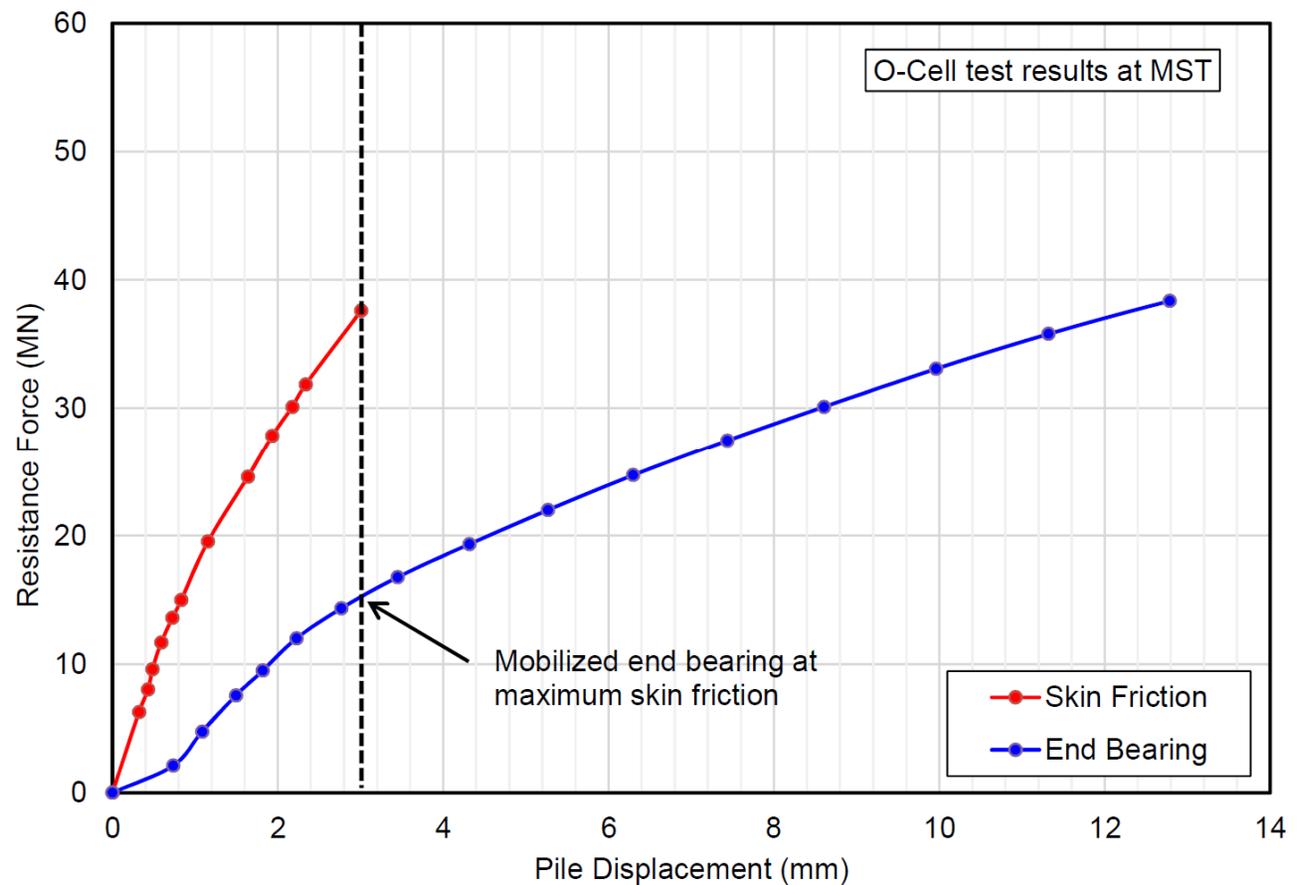
$$q_t = 14.0 \text{ MPa}$$

- Optimiser Φ :

$$0,6 \text{ au lieu de } 0,4$$

- Optimiser la capacité en frottement :

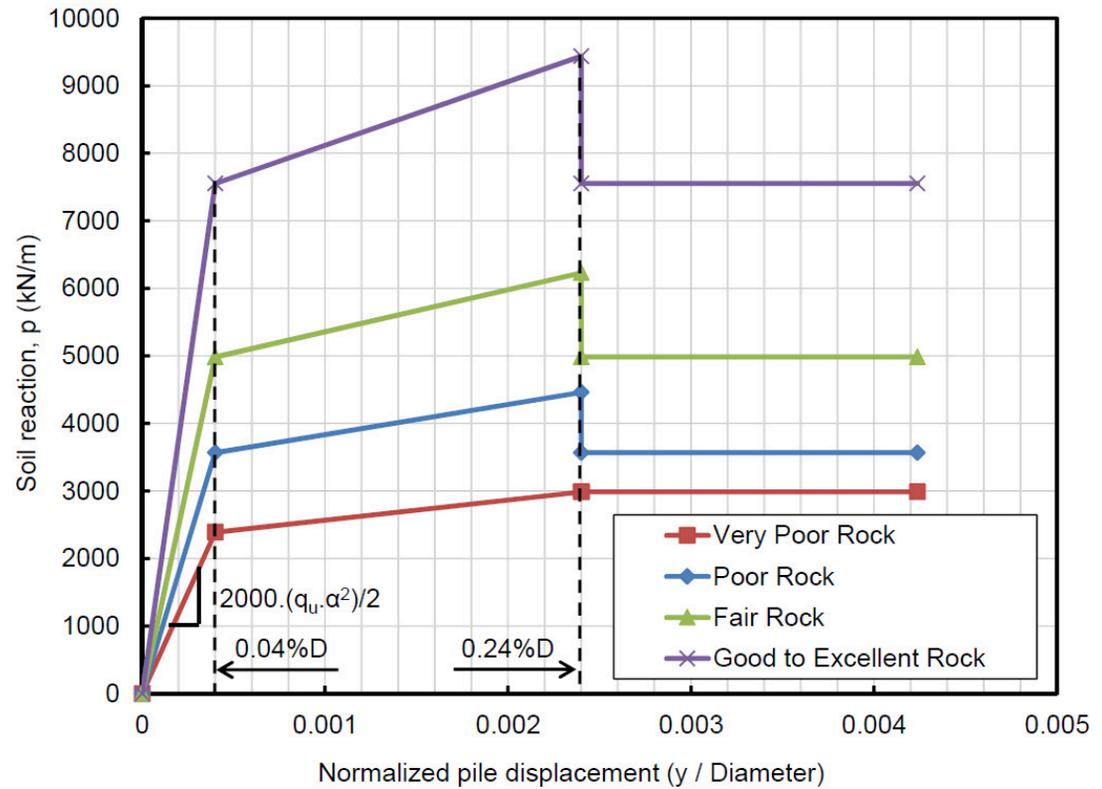
$$C = 1.26 \text{ au lieu de } C = 0.63 \text{ à } 1.41$$



4. Résultats

Courbes P-Y de résistance latérale dans le shale

- Optimiser des courbes P-Y en fonction de la qualité du shale et de la résistance en compression q_u



$p_u = (q_{u, \text{equiv}}) \cdot D / 2$
 $q_u = \text{Equivalent compressive strength of rock mass}$
 $D = \text{Pile diameter (e.g. 1.18 meter in this figure)}$
 $p_{\text{residual}} / p_u = 1.0 \text{ for Very Poor Rock and } 0.8 \text{ for all other types}$

5. Construction des fondations

Pilier principal (pont à haubans)

Forage des caissons



Construction du pilier



5. Construction des fondations

Fondations superficielles des piliers



Installation des fondations sous l'eau au niveau prévu



Fondation superficielle préfabriquée



6. Conclusion

- Projet majeur de grande complexité
- Échéancier de 42 mois
- Importance des investigations géotechniques pour déterminer les paramètres de conception des fondations
- Programme d'investigation original pour permettre l'optimisation de la conception des fondations
 - Niveau du roc compétant fixé d'avance sur la base des investigations
 - Qualité du roc (RQC, joints, etc.)
 - Propriétés du roc (q_u , module E , ϕ' , K_{sp} , ν)
- Essais O-Cell : contribution majeure pour l'optimisation de la conception des caissons dans le shale
- Collaboration des différents intervenants garante de la réussite du projet



Remerciements

Canada 



TYLIN INTERNATIONAL GROUP



SNC • LAVALIN

