

Étude de cas

# Pont de la rivière Petite Nation sur l'A-50 à Lochaber

Par : Marie-Claude Michaud, ing., M.Sc.A.

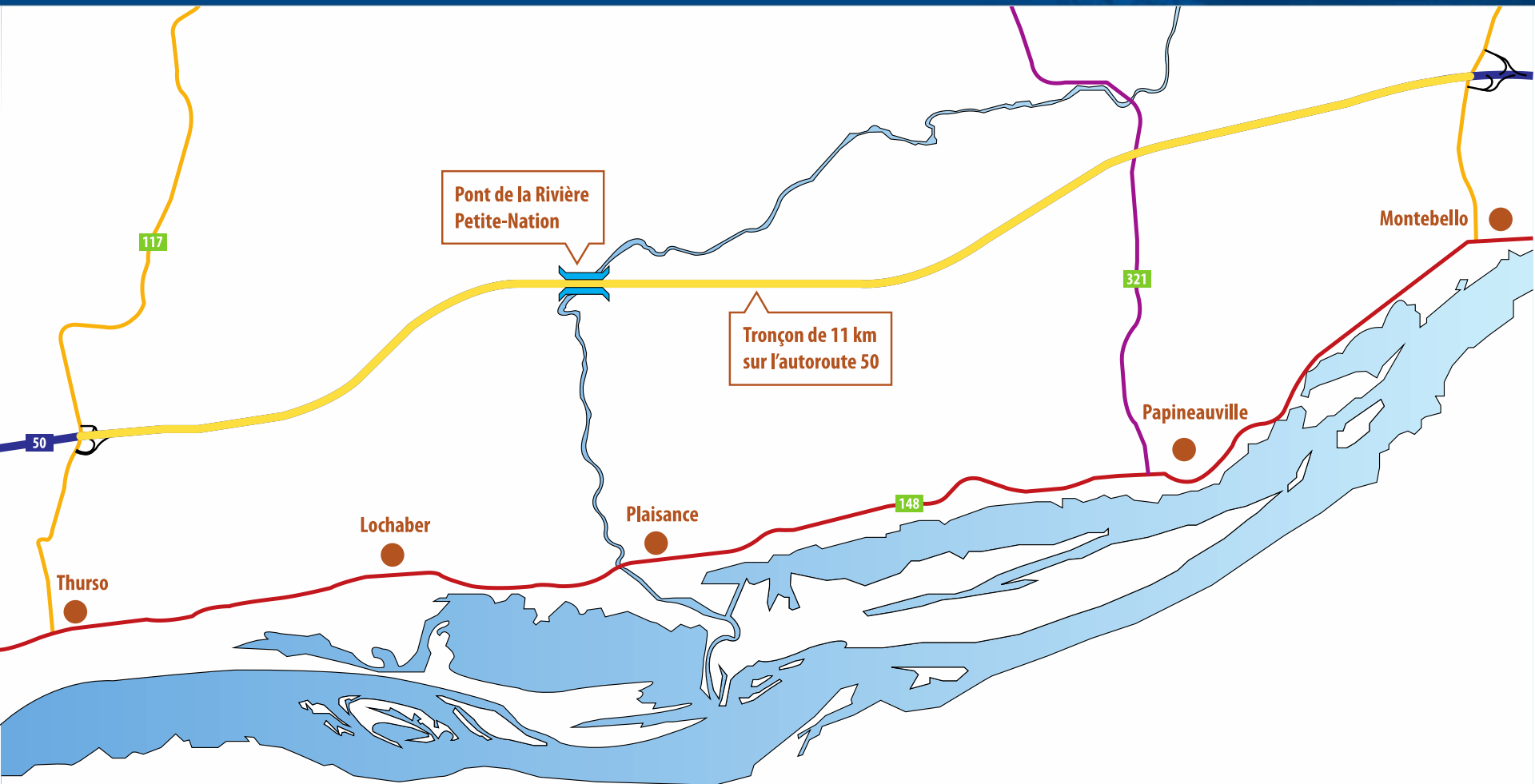
# PLAN DE LA PRÉSENTATION

- 1 Mise en contexte
- 2 Problématiques de conception et solutions retenues
- 3 Particularités de réalisation
- 4 Budget et échéancier
- 5 Conclusion et remerciements



# 1 | Mise en contexte

# LOCALISATION DE L'OUVRAGE



# PARTICULARITÉS DU SITE

- Vallée de 425 m de longueur
- Dénivelé de 35 m
- Rivière à préserver



# CATÉGORIE D'IMPORTANCE SISMIQUE

## PONT DE SECOURS

Pont situé sur le réseau stratégique en soutien au commerce extérieur (RSSCE)

**Principal défi  
Technique :  
1<sup>er</sup> au Québec**

## PONT D'URGENCE

Pont faisant partie ou passant au-dessus du réseau stratégique de transport

## PONT AUTRE

Tous les autres ponts...



# PHILOSOPHIE DESIGN PARASISMIQUE

- Concept développé par le ministère des Transports de la Californie suite à 2 tremblements de terre majeurs :
  - San Fernando (1971)
  - Loma Prieta (1989)
- Ponts conçus pour avoir une ductilité et une redondance accrues, avec un mécanisme de rupture clair pour éviter l'effondrement → POUR TOUS LES PONTS
- Ponts de secours → doivent résister à de forts séismes et permettre le passage des véhicules d'urgence, des secours et des vivres en cas de catastrophe
- Philosophie appliquée aux ponts du Québec depuis 2002

# PONT DE SECOURS – CODE CANADIEN

- Pont devant demeurer ouvert :
  - Ensemble du trafic dans le cas d'un séisme ayant une période de récurrence de 475 ans → **AUCUN DOMMAGE**
  - Aux véhicules d'urgence à des fins de sécurité et de défense dans le cas d'un séisme ayant une période de récurrence de 1000 ans → **DOMMAGES MINIMAUX ET RÉPARABLES**
- Les efforts dans les éléments résistant au séisme sont 3 fois plus grands comparés à ceux d'un pont de catégorie d'importance sismique « autre pont »

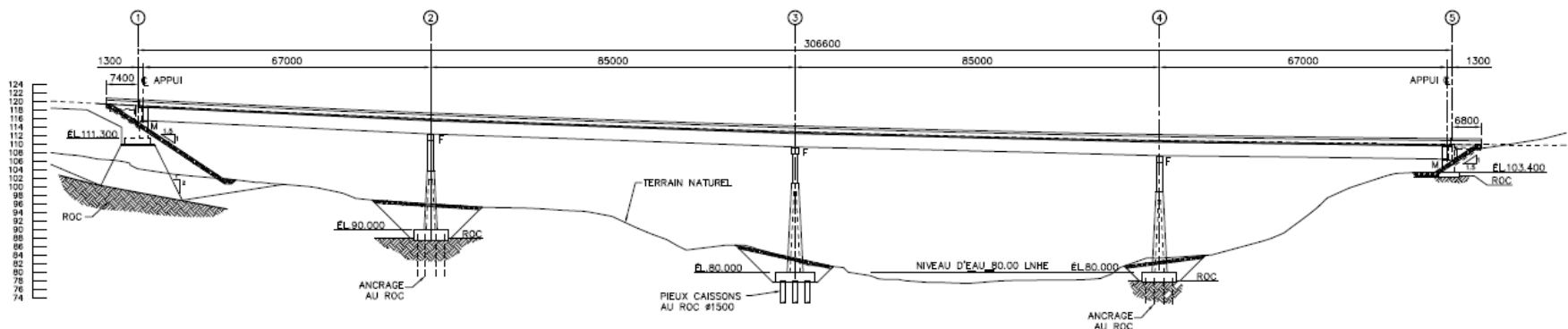




# 2 | Problématiques de conception et solutions retenues

# GÉOMÉTRIE ADOPTÉE

- Pont à 4 travées continues parfaitement balancées pour une longueur totale de 304 m
- Culée appuyée sur un remblai de roc d'environ 120 m de longueur et allant jusqu'à 15 m de hauteur à l'Ouest de la rivière
- Piles de part et d'autre de la rivière (aucun empiètement)





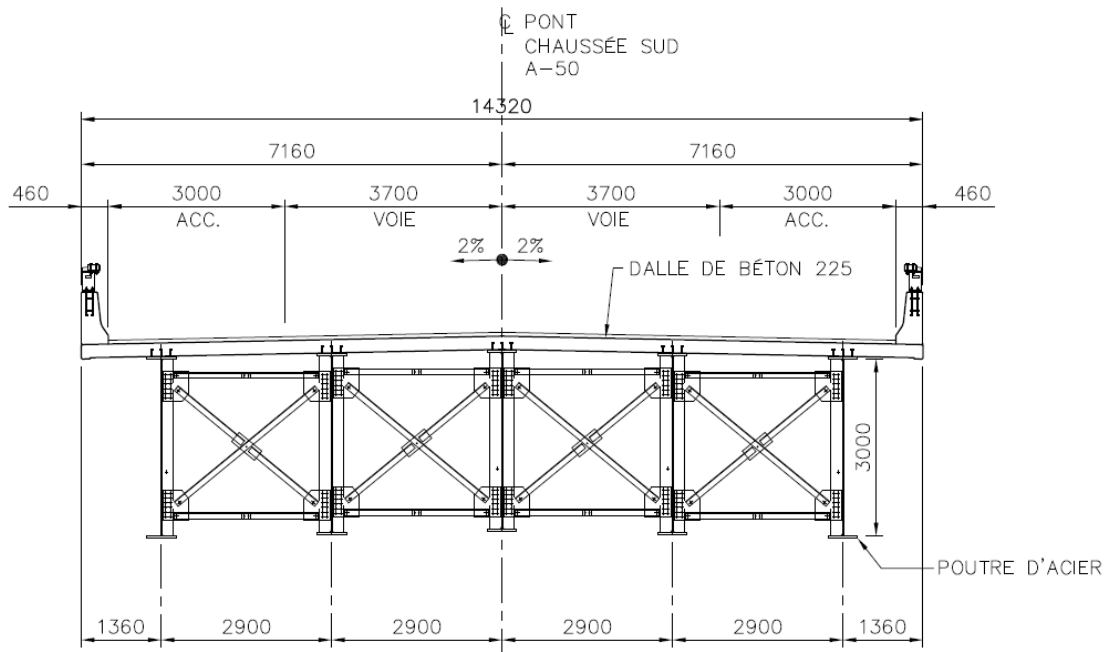
# GÉOMÉTRIE ADOPTÉE (suite)





# COUPE TRANSVERSALE DU TABLIER

- Superstructure légère en acier atmosphérique (aucune peinture requise) composée de 5 poutres continues à hauteur constante



# TYPE DE SYSTÈMES DE RÉSISTANCE AUX CHARGES SISMIQUES POSSIBLES

- Conception d'un pont ayant un comportement ~~entièrement~~ élastique sans dissipation d'énergie et sans dommage

Solution  
techniquement  
non réalisable

- Conception d'un pont ayant un comportement ductile
  - Certains éléments de l'infrastructure sont conçus pour subir plusieurs cycles de déformation inélastique tout en maintenant leur résistance (formation de rotules plastiques dans les piles)
  - Les autres éléments de la structure sont conçus pour demeurer essentiellement élastiques et intacts

**SOLUTION  
RETENUE**

- Utilisation ~~d'~~ un système d'isolation sismique

Solution rejetée  
pour des raisons  
d'échéancier

# MÉTHODE D'ANALYSE POUR LE CALCUL PARASISMIQUE – NORME S6-06

- Méthode d'analyse dépend :
  - Catégorie d'importance (pont de secours, d'urgence ou autre)
  - Zone de rendement sismique (1 à 4)
  - Complexité de la structure (pont régulier ou non)
- Le critère d'un « pont régulier » doit être respecté pour analyser l'ouvrage avec la méthode d'analyse spectrale multimodale définie dans la norme

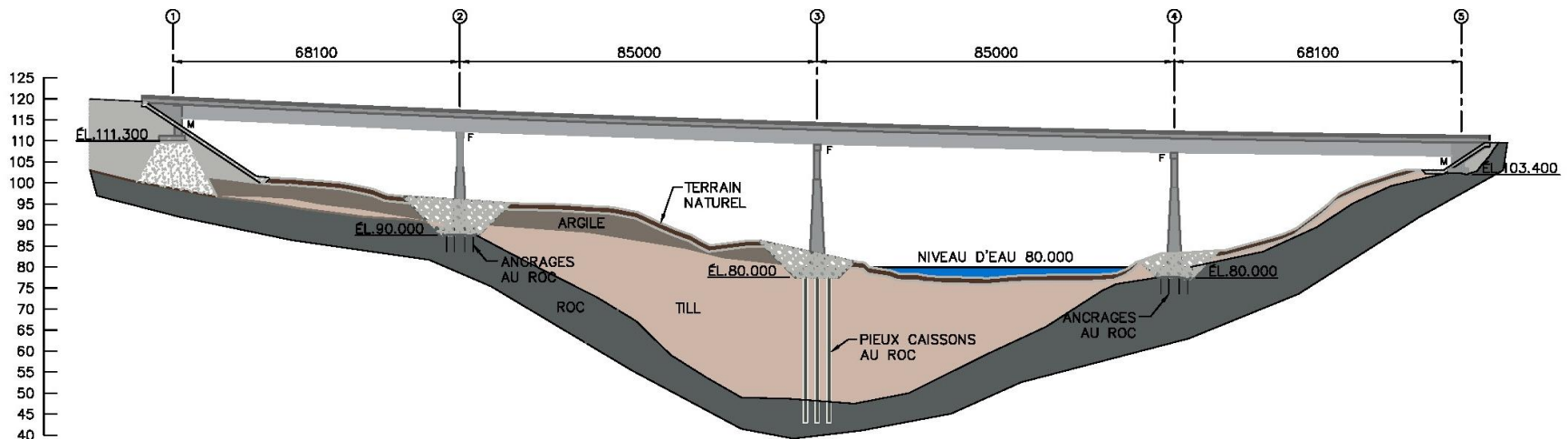
## **Objectif souhaitable à atteindre :**

Les éléments ductiles de l'infrastructure doivent avoir une rigidité similaire pour pouvoir envisager le scénario désirable d'une plastification simultanée des éléments ductiles



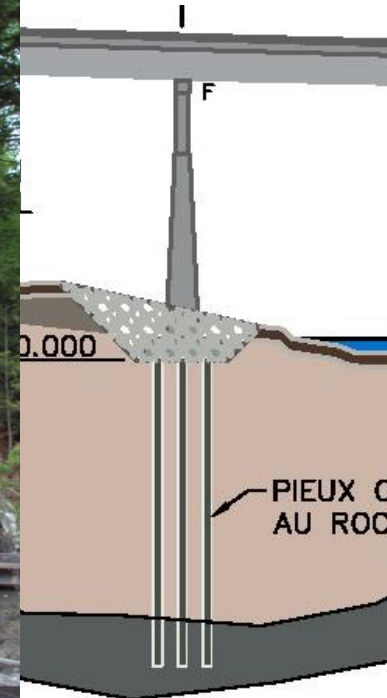
# PROBLÉMATIQUES POUR SATISFAIRE AUX EXIGENCES D'UN PONT RÉGULIER

- Profil géotechnique hétérogène avec roc plongeant
- Hauteur variable des piles (24,5 m, 31,6 m et 22,5 m)



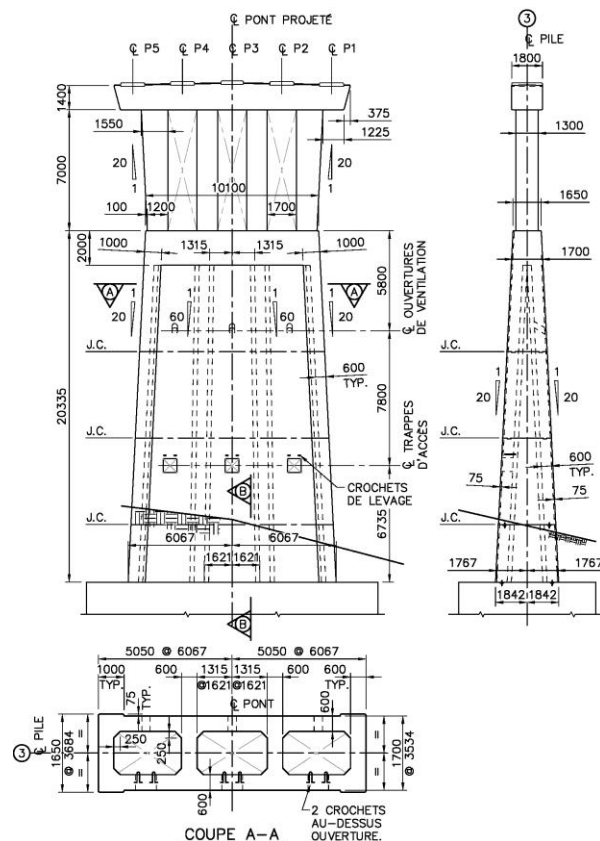
# SOLUTION – PROBLÉMATIQUE RELIÉE AU ROC PLONGEANT

- Pieux caissons de grand diamètre encore peu utilisés au Québec



# SOLUTION – PROBLÉMATIQUE LIÉE À LA HAUTEUR VARIABLE DES PILES

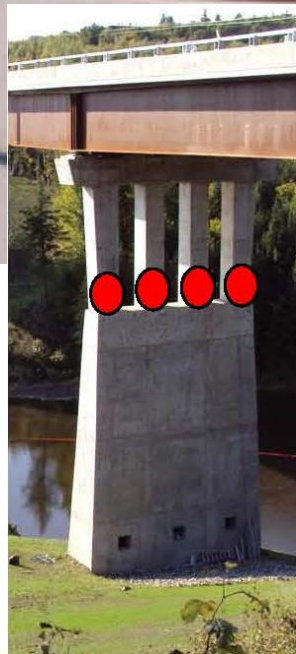
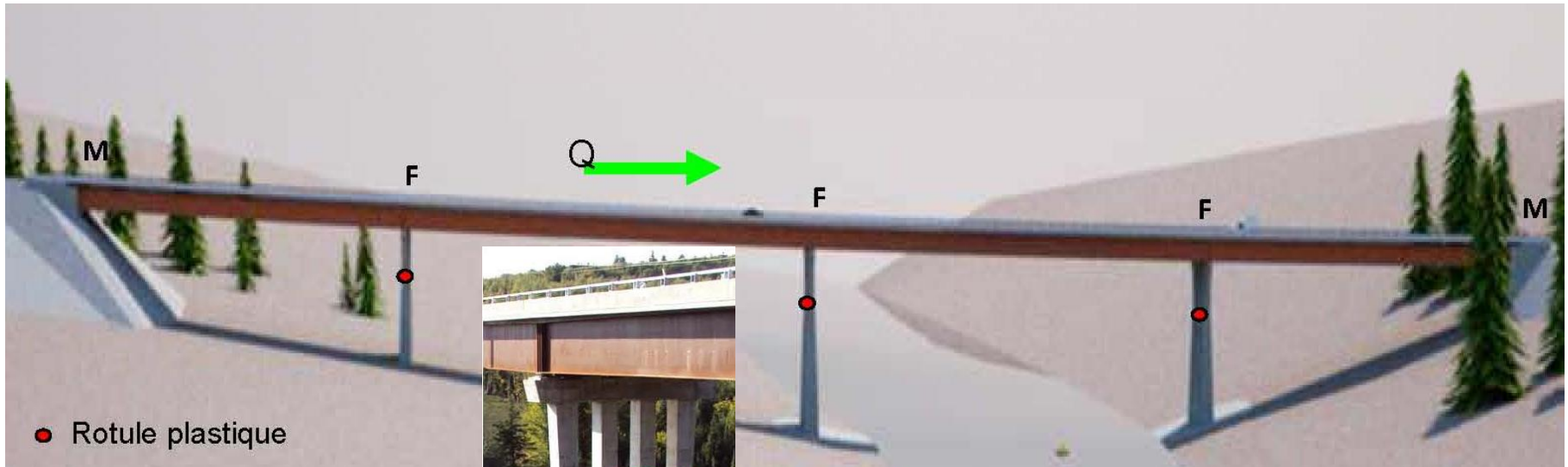
- Concept novateur de pile : colonnes ductiles sur pyramide tronquée rigide dont l'épaisseur des parois variait d'une pile à l'autre





# DESCRIPTION DU SYSTÈME DE RÉSISTANCE AUX CHARGES SISMIQUES CHOISI

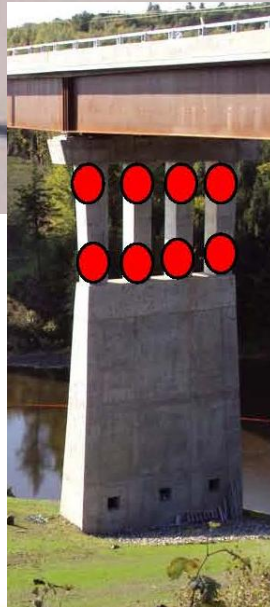
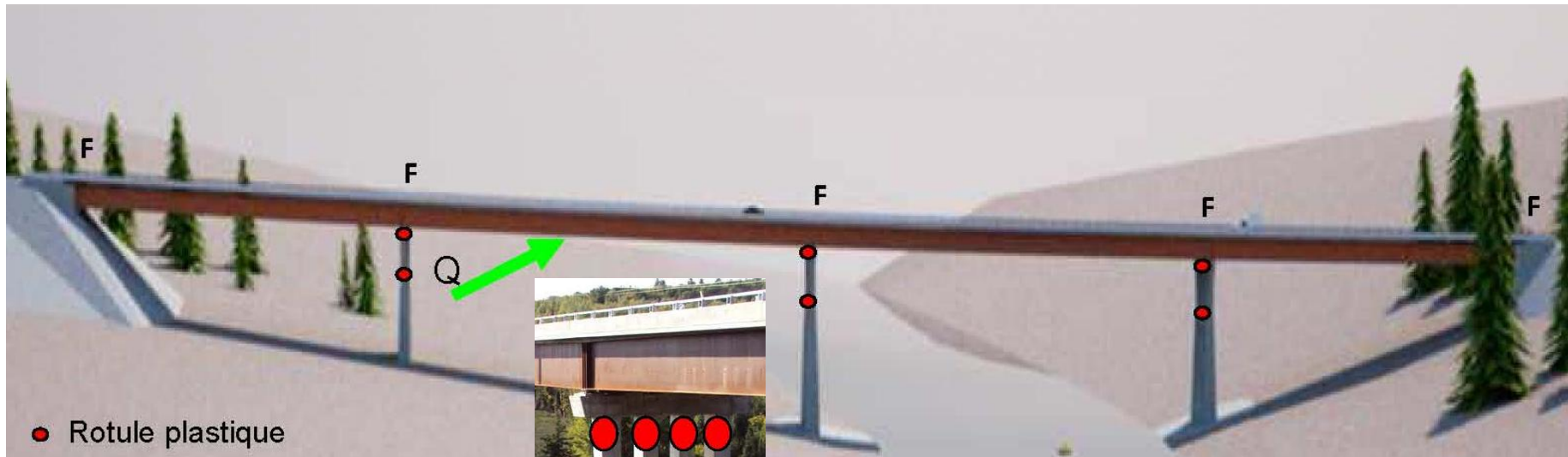
## Direction longitudinale



Formation de 12 rotules plastiques  
(4 par pile à la base des colonnes)

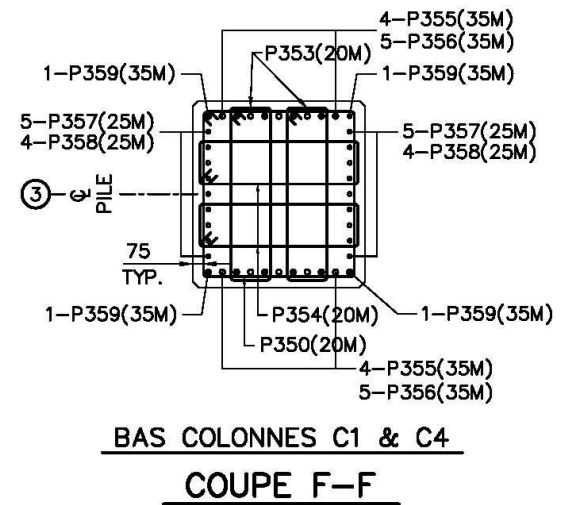
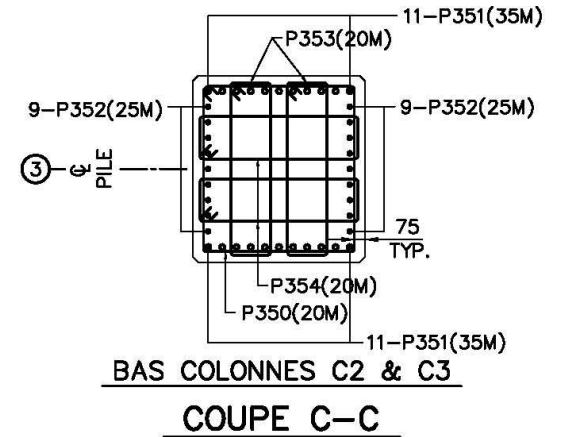
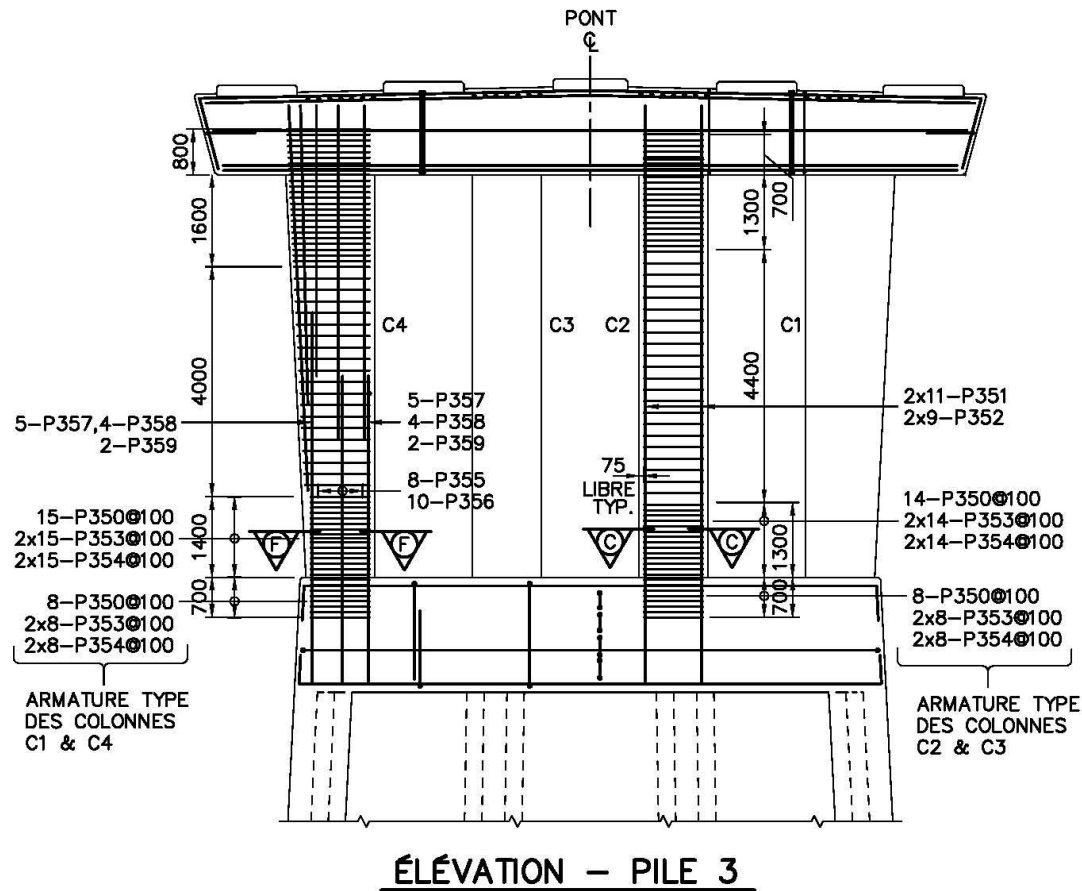
# DESCRIPTION DU SYSTÈME DE RÉSISTANCE AUX CHARGES SISMIQUES CHOISI

## Direction transversale



Formation de 24 rotules plastiques  
(8 par pile aux extrémités des colonnes)

# FERRAILLAGE DES ZONES DE ROTULES PLASTIQUES





# PROBLÉMATIQUE ADDITIONNELLE RELIÉE À LA HAUTEUR DES PILES

- Structure très sensible à la rotation des fondations risquant de causer des déplacements importants du tablier (effets P- $\Delta$ )
- Solution pour limiter les déplacements : empêcher toute rotation des fondations des piles 2 et 4 à l'aide de tirants d'ancrage actifs



# MESURES MISES EN PLACE POUR FACILITER L'ENTRETIEN DES PILES

- Trappes d'accès et trous d'aération dans la section évidée des piles
- Drainage à l'intérieur et autour des piles





# MESURES MISES EN PLACE POUR FACILITER L'ENTRETIEN DES PILES

- Passerelles d'inspection à l'intérieur des piles évidées



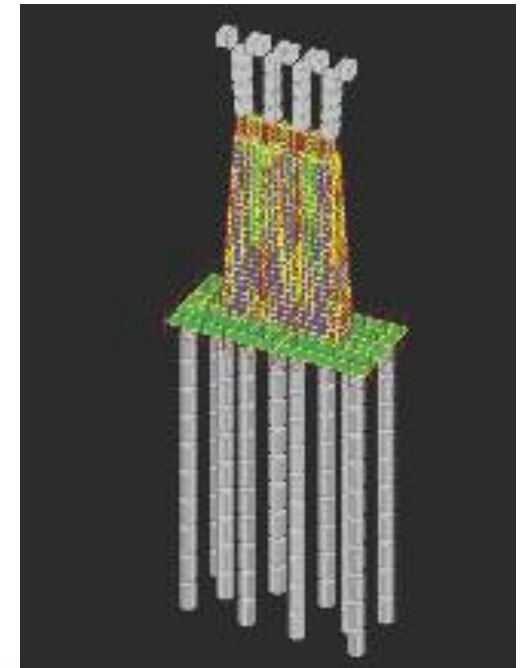
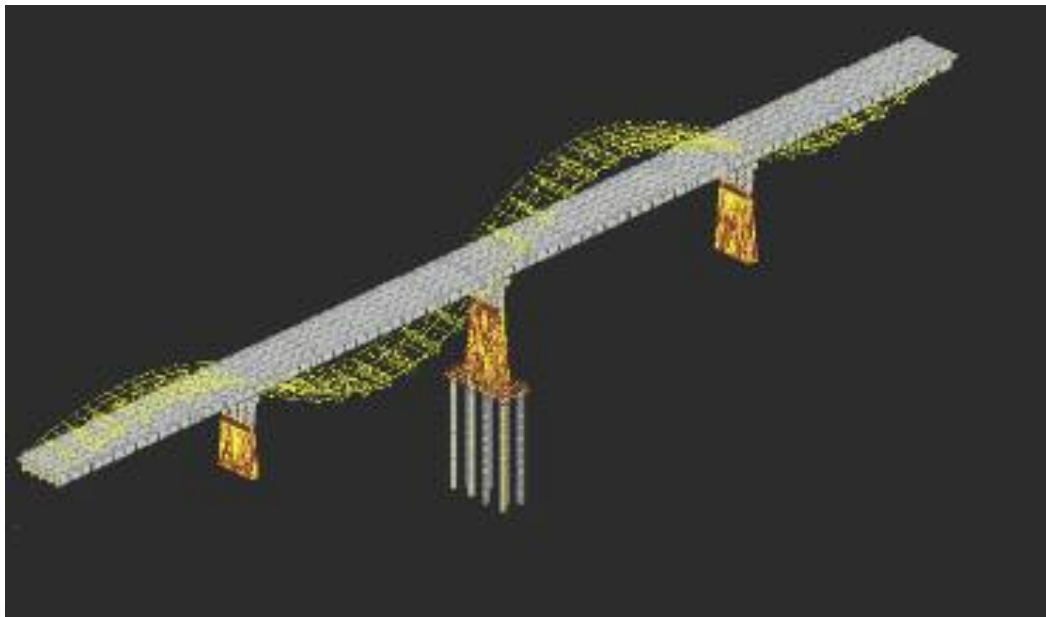


# ANALYSES RÉALISÉES POUR LA CONCEPTION DU PONT

- Analyses spectrales multimodales avec le spectre de calcul de la norme CAN/CSA-S6-06
- Modélisation de l'interaction sol-structure et analyses des pieux caissons avec L-Pile
- Analyses non linéaires pour les effets P- $\Delta$

# ANALYSE SPECTRALE MULTIMODALE

- Analyse du comportement dynamique de la structure dans laquelle la contribution des premiers modes de vibration réels de l'ouvrage est superposée de manière à avoir la participation d'au moins 90 % de la masse de l'ouvrage
- Modèle 3D représentant la structure dans son ensemble avec Advance Design America



# ANALYSE INTERACTION SOL-STRUCTURE

- Modélisation des pieux caissons sous la pile 3 à l'aide d'éléments de poutre retenus par des ressorts élastiques latéraux → hypothèse de comportement élastique du sol
- Validation des hypothèses du comportement du sol obtenues dans le modèle 3D à l'aide du logiciel spécialisé L-Pile (analyse non linéaire avec courbe P-Y)





# 3 | Particularités de réalisation

# CONTRÔLES PARTICULIERS EXIGÉS EN CHANTIER

- Méthode de contrôle ultrasonique (CSL) pour vérifier la qualité du béton des pieux caissons sur toute leur longueur
- Contrôle spécifique de la température du béton dans les semelles pour en assurer une bonne qualité





# PROBLÈMES RENCONTRÉS LORS DE LA RÉALISATION

- Pente du socle rocheux plus importante que prévue à l'axe 2





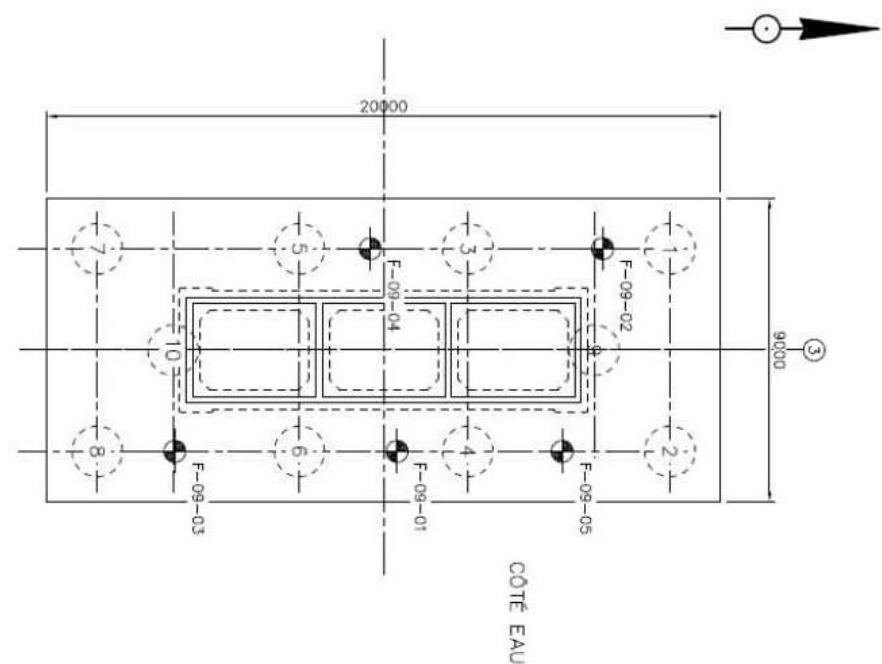
# PROBLÈMES RENCONTRÉS LORS DE LA RÉALISATION

## Reconstruction du socle rocheux



# PROBLÈMES RENCONTRÉS LORS DE LA RÉALISATION

- Perturbation du sol lors du forage d'un pieu caisson près de la rivière Petite Nation
  - 5 nouveaux forages ont été effectués pour établir l'étendue des perturbations et son influence sur le comportement de l'ouvrage





# PROBLÈMES RENCONTRÉS LORS DE LA RÉALISATION

- Densité importante d'armature dans les zones de formation de rotules plastiques
  - Reformulation du béton avec de gros granulats limités à 14 mm dans les sommets des pyramides tronquées





# 4 | Budget et échéancier

# BUDGET

- Coût estimé par CIMA+ : 29 M\$
- Coût soumissionné par Pomerleau : 25,5 M\$
- Coût final : 26,5 M\$ incluant les EXTRAS
- L'ensemble des travaux incluant les imprévus a été réalisé avec un budget correspondant à 11 % de moins cher que ce qui avait été évalué par CIMA+
- Le pont de la Petite Nation a coûté 4 900 \$ le mètre carré, soit le prix moyen pour un pont d'étagement standard à Montréal

# ÉCHÉANCIER

- **Ouverture des soumissions**
  - Janvier 2009
- **Début des travaux**
  - Mars 2009
- **Fin des travaux**
  - Novembre 2010

**Délais contractuels respectés au jour près !**



# 5 | Conclusion et remerciements


# CONCLUSION

Le concept proposé des piles a permis d'uniformiser la rigidité des piles d hauteur variable et de réduire considérablement les efforts sismiques transmis aux fondations et d'assurer un comportement ductile de la structure en cas de séisme majeur;

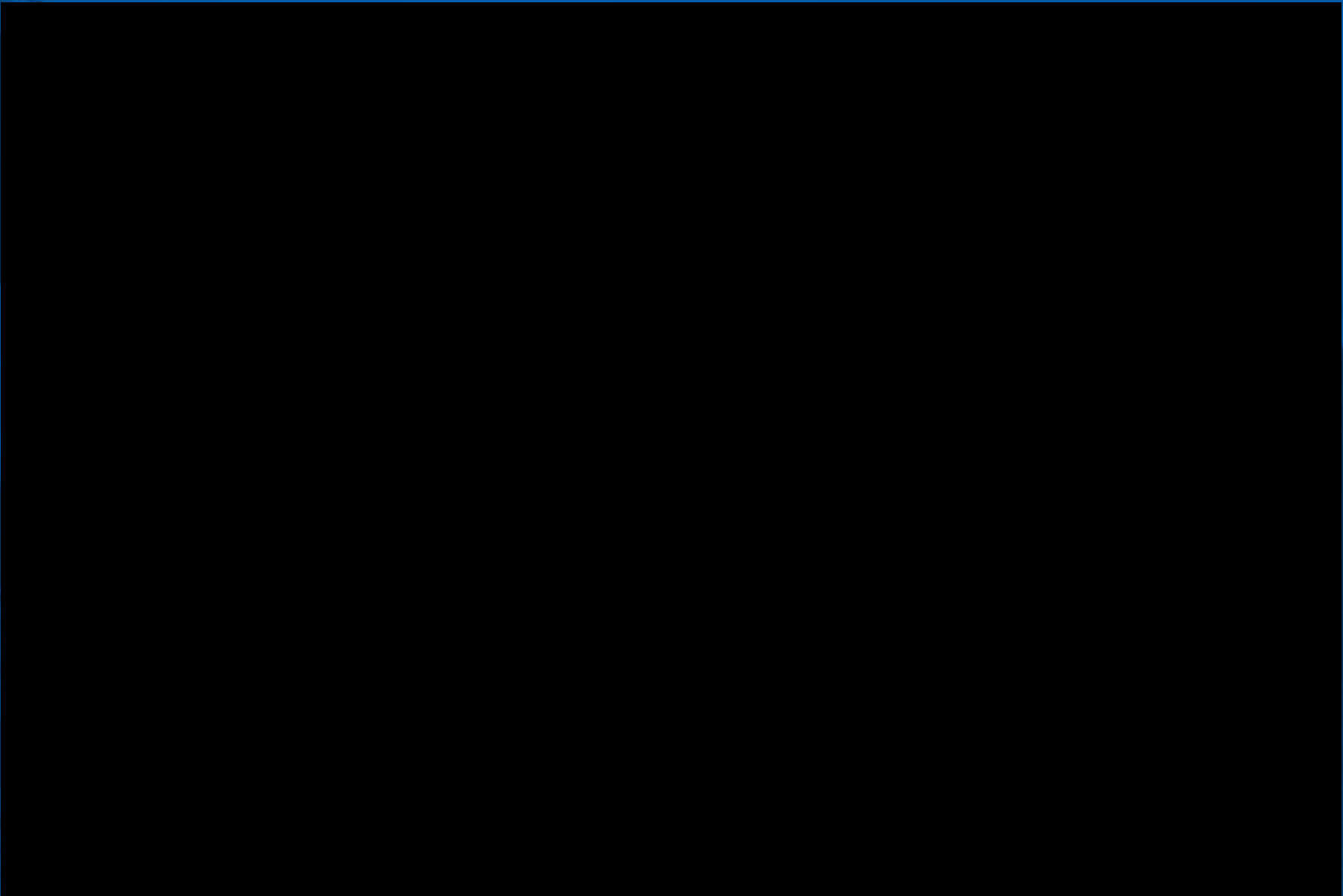
CIMA+ a réalisé ce projet hors du commun avec succès grâce à la mobilisation et à la collaboration exceptionnelle de tous les intervenants dans ce dossier.

# REMERCIEMENTS

## *Transports*

- Québec 
  - Direction Territoriale de l'Outaouais
  - Direction des Structures à Québec
  
- Experts qui ont collaboré aux projets :
  - M. Robert Tremblay, ing. Ph.D., École Polytechnique de Montréal
  - M. Omar Challal, ing. Ph.D., ÉTS
  - M. Jean-Hugues Deschênes. Ing. Ph.D., Groupe Qualitas
  
- Constructeur : **POMERLEAU**







**CIMA**

Partenaire de génie

[www.cima.ca](http://www.cima.ca)