



Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
charges lourdes-climat-chaussées



## *Effets de la circulation des véhicules lourds en crête de barrage en remblai*

Directeur: Guy Doré

Co-directeur: Jean-Pascal Bilodeau

Étudiants chercheurs: Erdrick Pérez González, Charles-Antoine Bordeleau, Marc-Antoine Gagnon

En collaboration avec Hydro-Québec: Steven Doré

**Symposium novembre 2020**



UNIVERSITÉ  
LAVAL

Faculté des Sciences et de génie  
Département de génie civil



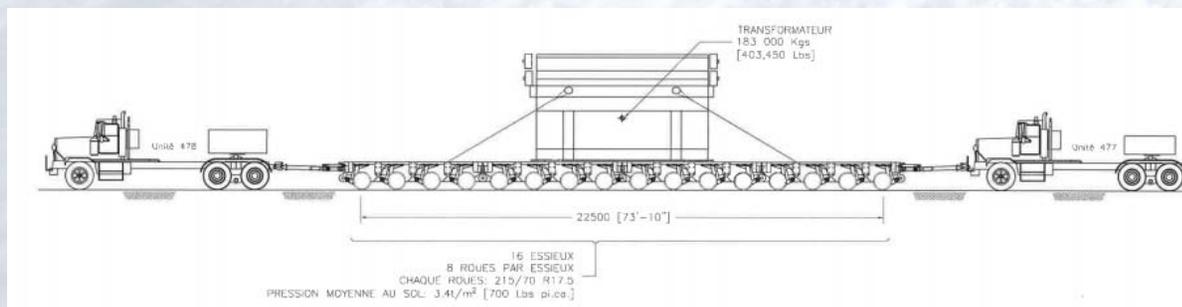
# Mise en contexte

- Il existe plus de 6000 ouvrages de retenus de dimensions variées au Québec
- Ces ouvrages franchissent des plans d'eau à des endroits stratégiques
- Il existe une demande pour utiliser les digues et barrages à des fins de voies de circulation
- Les propriétaires de barrages veulent connaître l'impact de cette circulation



# Problématique

- Circulation de véhicules hors normes
- Ouvrages de grande importance
- Ouvrages non conçus pour cette charge



# Objectifs du projet

- Évaluer les impacts possibles de la sollicitation sur les propriétés mécaniques et hydrauliques des noyaux de barrage.
- Développer une méthode d'évaluation
- Faciliter la bonne gestion des ouvrages
- Favoriser le transport efficace de charges lourdes



# Méthode existante d'évaluation

- Win Julea

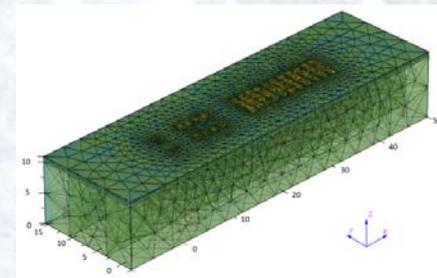
- Logiciel d'analyse de la réponse mécanique;
- Définition d'un système multicouche linéaire élastique;
- Définition de la charge (simple et multiple);
- Évaluation des contraintes, déplacements et déformation;

Limitations:

- Ne considère pas le chargement cyclique et n'intègre pas la notion d'endommagement;
- Ne considère pas les frontières (infini en plan) ;
- Ne considère pas de charge hydraulique.

- Méthode des éléments finis

- Modèle de calcul numérique
- Analyse du comportement d'un système
- Recherches par Erdrick Pérez González en cours



Erdrick Pérez González, 2020

WinJULIA : [C:\Users\MarcG\Desktop\Ulava\2E CYCLE\projet maitrise\camion 150t.jea]

File Edit Help

Input Layers

	Thickness	E-Modulus	PR	Slip
1	70.000	2900.0	0.35000	0.0000
2	150.00	260.00	0.35000	0.0000
3	225.00	170.00	0.35000	0.0000
4	0.0000	20.000	0.35000	0.0000
5				
6				

Input Loads

	X-Coord.	Y-Coord.	Load	Contact Area
1	0.0000	0.0000	20000	38456
2	0.0000	350.00	20000	38456
3	1350.0	0.0000	20000	38456
4	1350.0	350.00	20000	38456
5				

Input Evaluation Points

	X-Coord.	Y-Coord.
1	0.0000	0.0000
2		
3		
4		
5		
6		

Input Calculation Depths

	Depth
1	0.0000
2	500.00
3	1000.0
4	1500.0
5	2000.0
6	2500.0

Results of Calculations Points

	Point 1	Point 2	Point 3
X-Coord.	0.0000	0.0000	0.0000
Y-Coord.	0.0000	0.0000	0.0000
Z-Coord.	0.0000	500.00	1000.0
Stress_X	1.8041	0.17799E-03	0.60796E-03
Stress_Y	1.6786	-0.20930E-03	-0.23623E-03
Stress_Z	0.52007	0.17113E-01	0.88254E-02
ShearStress_XZ	0.0000	-0.16729E-02	-0.14759E-02
ShearStress_YZ	0.0000	-0.27347E-02	-0.92155E-03
ShearStress_XY	-0.86991E-02	0.19425E-03	0.13101E-03
Strain_X	0.35675E-03	-0.28691E-03	-0.11991E-03
Strain_Y	0.29831E-03	-0.31306E-03	-0.17690E-03
Strain_Z	-0.24099E-03	0.85620E-03	0.43477E-03
ShearStrain_XZ	0.0000	-0.22584E-03	-0.19925E-03
ShearStrain_YZ	0.0000	-0.36918E-03	-0.12441E-03
ShearStrain_XY	-0.80992E-05	0.26224E-04	0.17686E-04
Displ_X	0.24977E-01	-0.77276E-01	-0.74543E-01
Displ_Y	0.25802E-01	-0.59167E-01	-0.32045E-01
Displ_Z	1.5104	1.2695	0.97116
PrincStress_1	1.8047	0.17696E-01	0.91744E-02
PrincStress_2	1.6780	0.22296E-04	0.35215E-03
PrincStress_3	0.52007	-0.63676E-03	-0.32943E-03
PrincStrain_1	0.35703E-03	0.89556E-03	0.45832E-03
PrincStrain_2	0.29803E-03	-0.29742E-03	-0.13718E-03

Calculate

Save

Open

Clear All

Report

About

Exit

ERDC-WES  
Airfields &  
Pavements  
Branch



# Orientation de la recherche

Principaux modes de ruptures des barrages en remblai :

- Le débordement
- L'érosion externe
- L'érosion interne (renard hydraulique)
- Mouvement de masse (instabilité des pentes de talus)

Digue 0A-02, Opinaçá

Première méthode d'évaluation de la chaire de recherche:

- Prédiction de la déformation permanente du noyau sous chargement cyclique

# Orientation de la recherche

Principaux modes de ruptures des barrages en remblai :

- Le débordement
- L'érosion externe
- L'érosion interne (renard hydraulique)
- Mouvement de masse (instabilité des pentes de talus)

Digue 0A-02, Opinaca

Première

- Prédiction  
sous

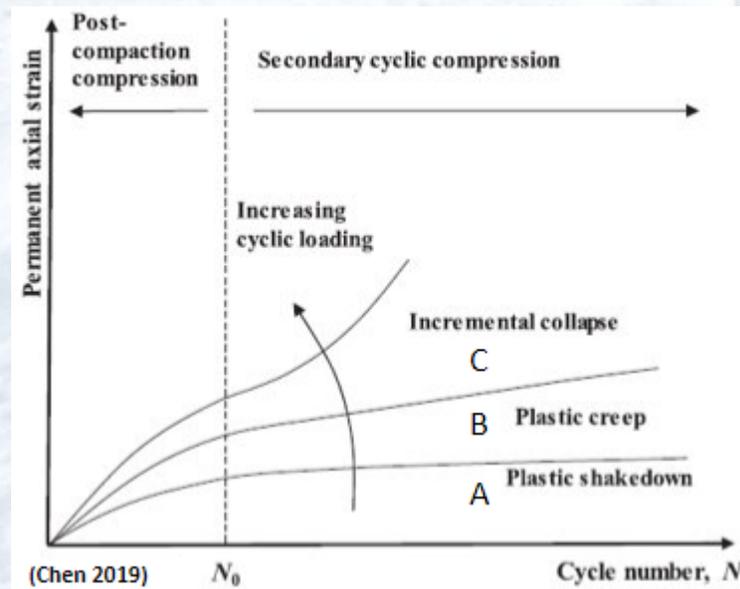
recherche:

du noyau



# Théorie : Shakedown

4 catégories de réponses du matériau granulaire sous charge cyclique (Werkmeister, Dawson, & Wellner, 2005).



Limit	PD accumulation between 3000 and 5000 cycles	Deformation rate
Range A – Range B	45 $\mu\epsilon$	$2.25 \cdot 10^{-2} \mu\epsilon / \text{cycle}$
Range B – Range C	450 $\mu\epsilon$	$2.25 \cdot 10^{-1} \mu\epsilon / \text{cycle}$



# Méthode de recherche terrain

- Instrumentation de 3 barrages

Haltère de déformation verticale  
-Déformation élastique verticale



Extensomètre multi-niveaux  
-Déformation permanente

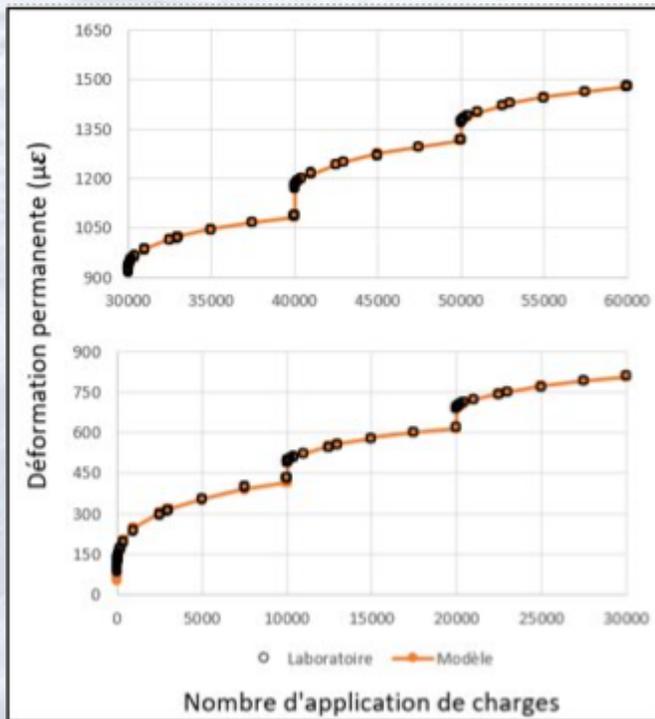


Cellules de contraintes  
-Contraintes horizontales  
et verticales



# Méthode de recherche laboratoire

- Cheminement de contrainte sous chargement cyclique



Charles-Antoine Bordeleau, 2020

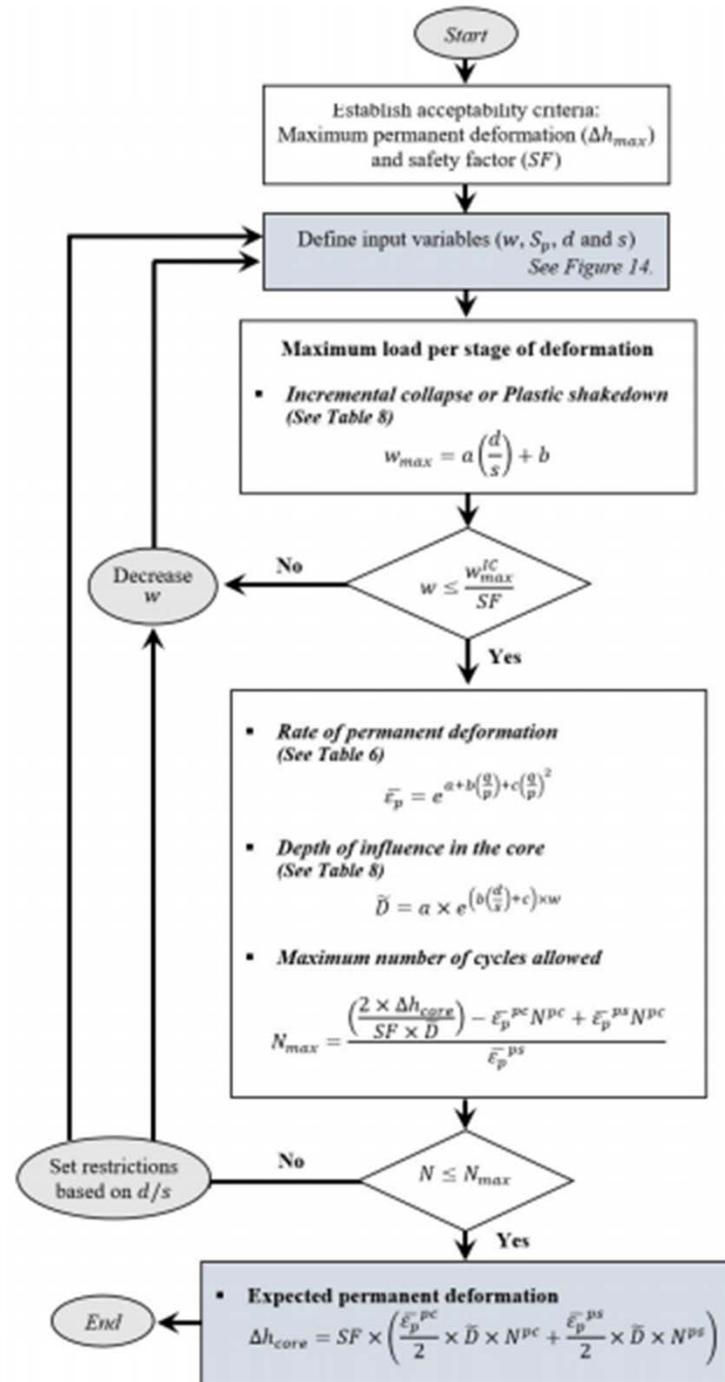
- Presse hydraulique de modèle UTM- 100



# Outil développé

- Méthode de prédiction des déformations permanentes dans les noyaux de till ou d'argile
- Calibration des équations
- Paramètres d'entrée

Pérez-Gonzalez et al. 2020



# Application:

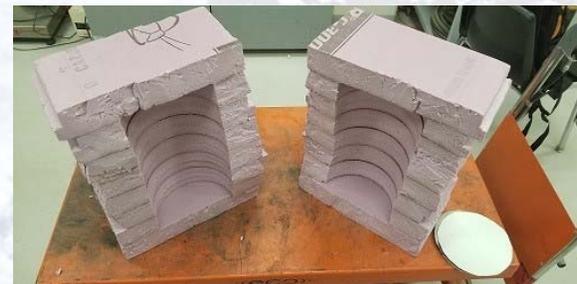
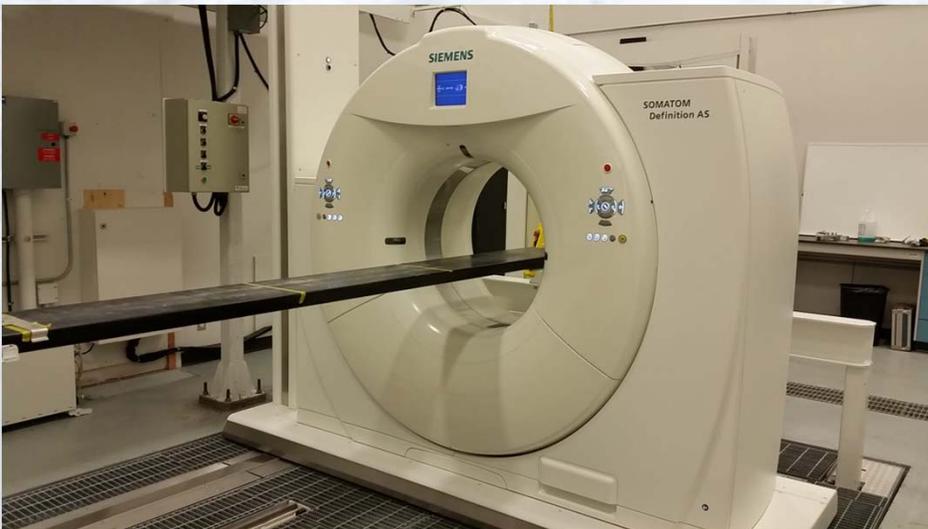
Prédiction des déformations attendus dans un noyau de till sous une revanche en matériaux granulaires

Input Information	
Allowable deformation ( $\Delta h_{core}$ ), mm	50
Safety factor ( $SF$ )	1.5
Speed ( $S_p$ ), km/h	15
Weight per tire assembly ( $w$ ), kN	45.0
Distance tire-edge ( $d$ ), m	0.5
Distance between tires ( $s$ ), m	2.6
Revision of load level	
Load for incremental collapse ( $w_{max}^{IC}$ ), kN	98.3
Load for plastic shakedown ( $w_{max}^{PS}$ ), kN	26.8
$w \leq w_{max}^{IC}/SF$	Yes [45<65.5]
Calculation of expected deformation	
$q/p$	0.308
Plastic strain rate, post-comp. ( $\bar{\epsilon}_p^{pc}$ ), $10^{-6}$ mm/mm	83.33
Plastic strain rate, plast. shakedown ( $\bar{\epsilon}_p^{ps}$ ), $10^{-6}$ mm/mm	15.75
Depth of influence ( $\tilde{D}$ ), mm	813.3
Number of cycles in post-compaction ( $N^{pc}$ )	50
Total number of cycles ( $N$ )	375
Deformation in post-compaction ( $\Delta h^{pc}$ ), mm	1.69
Deformation in plast. shakedown ( $\Delta h^{ps}$ ), mm	2.08
Total deformation ( $\Delta h_{core} = SF \times [\Delta h^{pc} + \Delta h^{ps}]$ ), mm	5.66



# Recherches en cours

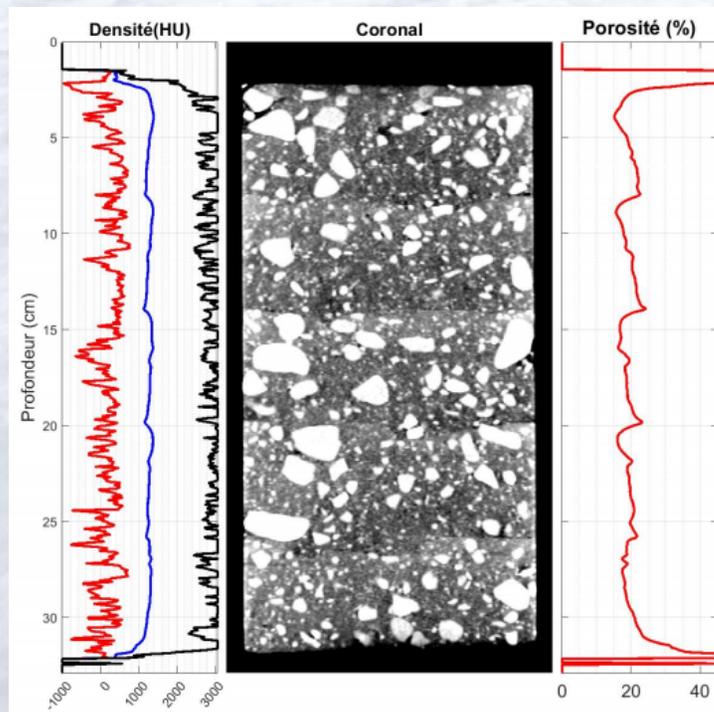
## 1) Utilisation du Catscan



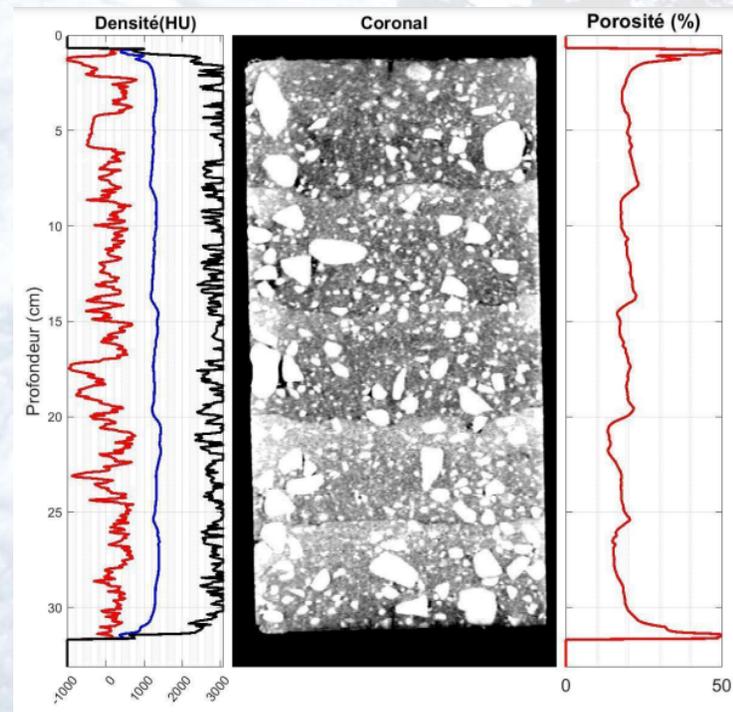
# Recherches en cours

## 1) Vue en coupe

Noyau de till en place



Noyau de till après chargement cyclique



# Possibilités de recherche

- 1) Perfectionnement du modèle par éléments finis
- 2) Reproduction d'un barrage en laboratoire, avec une charge hydrique et sous le simulateur routier.





Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
charges lourdes-climat-chaussées



Partenaires

