



Phase 2

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



Estimation des propriétés des sols et des matériaux granulaires de chaussées

Guy Doré

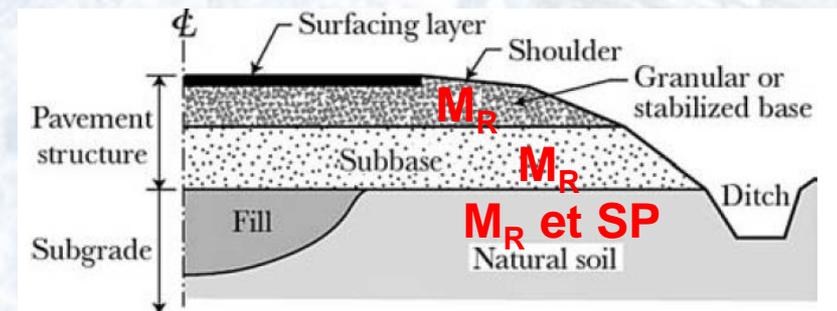
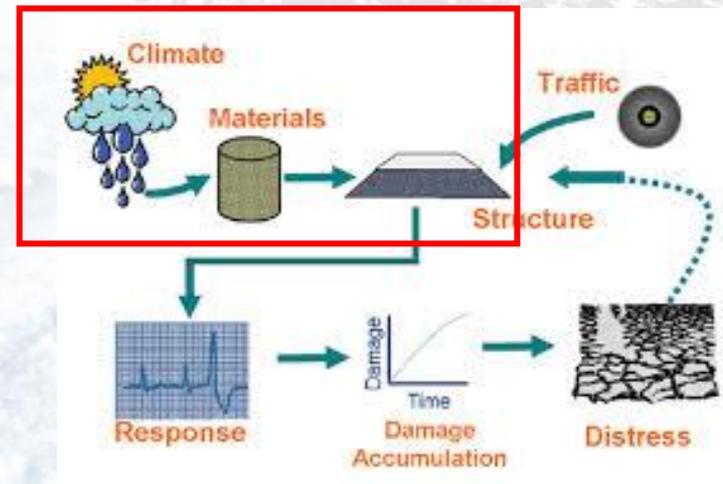
Jean-Pascal Bilodeau

Phase 1 : D. Soto, C. Mellizo, J. Poupart, A. Quijano

Phase 2 : M. Kandji

Introduction et problématique

- En Amérique, depuis environ 20-30 ans, transition vers les méthodes ME pour la conception des chaussées flexibles
- Requiert une bonne connaissance au niveau des intrants associés aux propriétés des matériaux



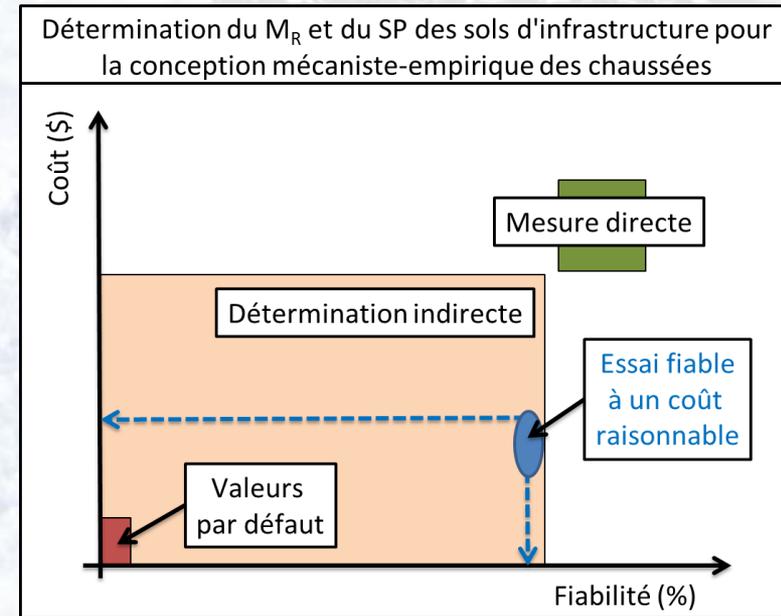
Propriétés des matériaux granulaires et des sols

- Module réversible
- Déformation permanente
- Sensibilité au gel
- Influence des facteurs climatiques
- Défis
 - Essais complexes avec équipement couteux requérant du personnel spécialisé
 - Alternative: valeurs par défaut peu fiables
- Méthodes accessibles et fiables requises



Propriétés des matériaux granulaires et des sols

- Module réversible
- Déformation permanente
- Sensibilité au gel
- Influence des facteurs climatiques
- Défis
 - Essais complexes avec équipement couteux requérant du personnel spécialisé
 - Alternative: valeurs par défaut peu fiables
- Méthodes accessibles et fiables requises



Estimation du Mr des MG

Claudia Mellizo (2012)

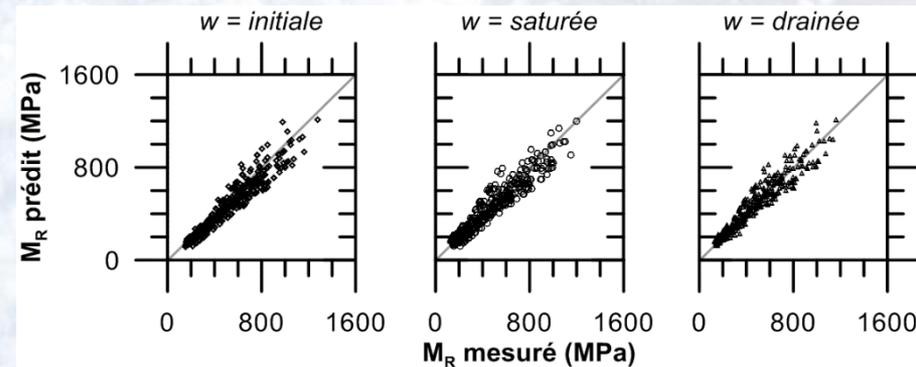
- Deux bases de données bien contrôlées (Bilodeau 2009, Doucet et Doré 2004)
- 43 MG : canadiens (MG20, MG112), bien caractérisés, Mr déterminé en laboratoire, même norme d'essai
- Régression linéaire multiple

Facteur qui influence le M_R	Propriété physiques	Min.	Max.
Granulométrie	Cu	3	117
	Fines (%)	1	14
Teneur en eau	Sat (%)	12	100
	w_{opt} (%)	4.3	13.1
Densité	ρ_{dmax} (kg/m ³)	1579	2442

$$Mr(MPa) = Mr_{sat} + \Delta Mr$$

$$Mr_{sat}(MPa) = c1s\theta + c2s$$

$c1s$ et $c2s = f$ (Proctor, Granulo., Densité)
 $R^2=0,73$ et $0,80$

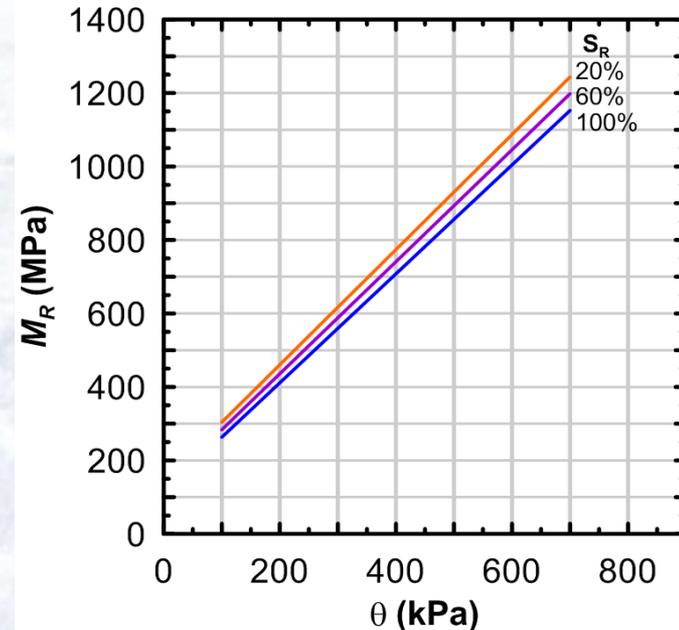
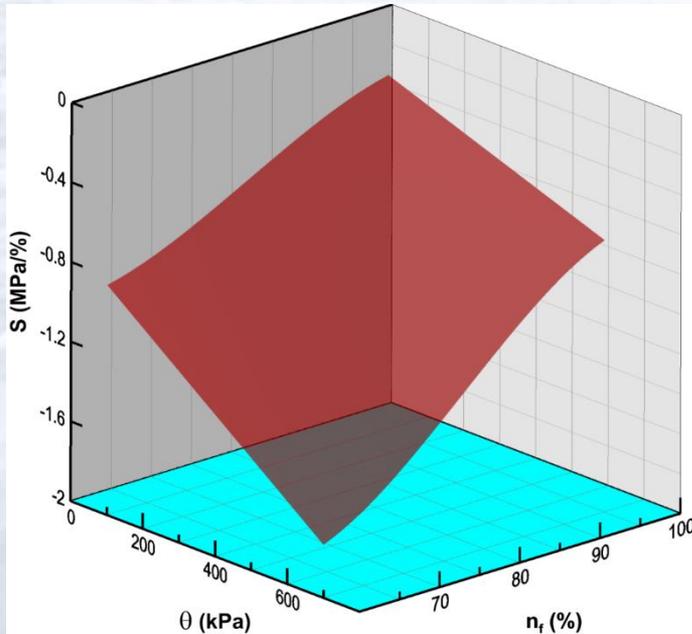


Erreur de prédiction moy.= 15% (375 données)



Estimation du Mr des MG

Claudia Mellizo (2012)



$$s \left(\frac{\text{MPa}}{\%} \right) = (0,00003\theta + 0,0206)(n_f - 113,636) + 0,31818$$

$$\Delta M_R (\text{MPa}) = S \times \Delta S_R \approx S \times (S_R - 100)$$

Exemple :
 $C_u = 38.1$, $\%F = 5$ %, $\rho_{d\max} = 2230 \text{ kg m}^{-3}$
 $w_{\text{opt}} = 6\%$, $\rho_s = 2650 \text{ kg m}^{-3}$, $\text{Abs.} = 0.7$ %



Estimation du Mr des MG

Claudia Mellizo (2012)

- Intégration dans i3C-me

Détermination de la structure de chaussée et des propriétés mécaniques des couches

Fichier Paramètre saisonnier Aide

Structure de chaussée

	Matériau	Épaisseur (mm)	Coefficient de poisson
1	Enrobé bitumineux	60	0.00
2	Matériaux granulaire	300	0.35
3	Matériaux granulaire	300	0.35
4	Sol	0	0.35
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Information

Toutes les couches sont parfaitement collées ensemble

- L'épaisseur de la dernière couche doit être égale à 0 mm

- Les épaisseurs en rouge ne suivent pas les recommandations du ministère des transports en ce qui concerne les épaisseurs de pose.

Validation

VALIDER LE MODULE

Couche 1 Couche 2 Couche 3 Couche 4 Couche 5 Couche 6 Couche 7 Couche 8 Couche 9 Couche 10

Classe du matériau granulaire

Classification du matériau granulaire: MG 20

Propriété mécanique du matériau

Niveau 1 : Mesure obtenue en laboratoire

Niveau 2 : Estimation à partir des propriétés physiques

Sélection parmi la base de données :

Estimation à partir du modèle Mellizo, Blodeau, Doré:

Entrer nouvelles mesures ou sélection parmi la base de données: MG 20 Mellizo Exemple

Pourcentage de fines, F (%): 4.4 Teneur en eau opt., Wopt (%): 5 DSM, p dmax (kg/m3): 2253

Coefficient d'uniformité, Cu: 50 Degré de saturation, Sat(%): 60 Densité des grains, p s (kg/m3): 2650

Absorption, Abs (%): 1.01 Teneur en eau, W (%): 5 Densité sèche, p d (kg/m3): 2253

Estimation à partir du CBR:

Niveau 3 : Valeur typique du matériau

Information

Matériau sélectionné: MG 20 Mellizo Exemple matériaux



Estimation du Mr et SP des sols

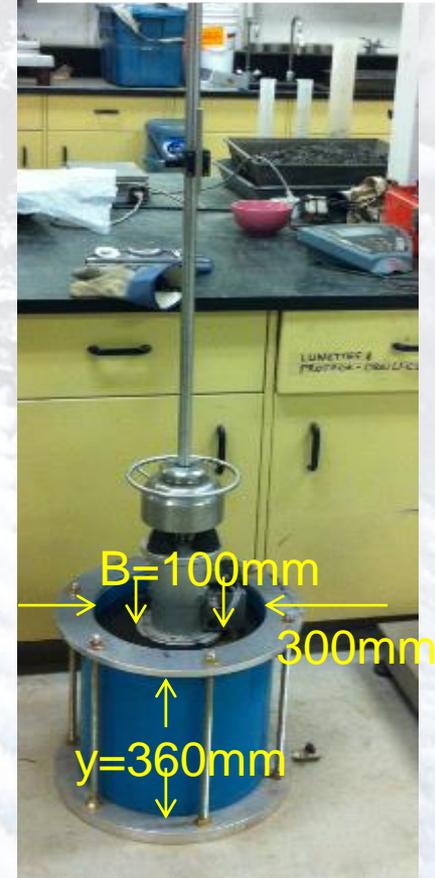
Dario Soto (2014)

- Développement d'un essai simple
 - Estimation Mr (LWD) et SP (DV) + Validation terrain
- Corrélation avec Mr et SP (laboratoire)



Mesure de la constante diélectrique (DV) Avec percomètre

Essai de déflexion avec LWD (Eback)



Estimation du Mr et SP des sols

Dario Soto (2014)

Module réversible (Groupe I)

$$\log(M_R) = 0,00514E_{Back} + 0,8278Sr - 0,298p_{080}^{0,615} + 1,288$$

Module réversible (Groupe II)

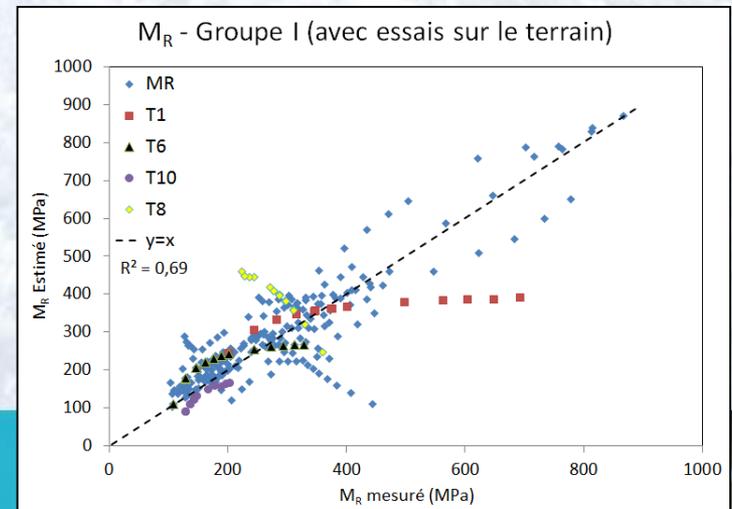
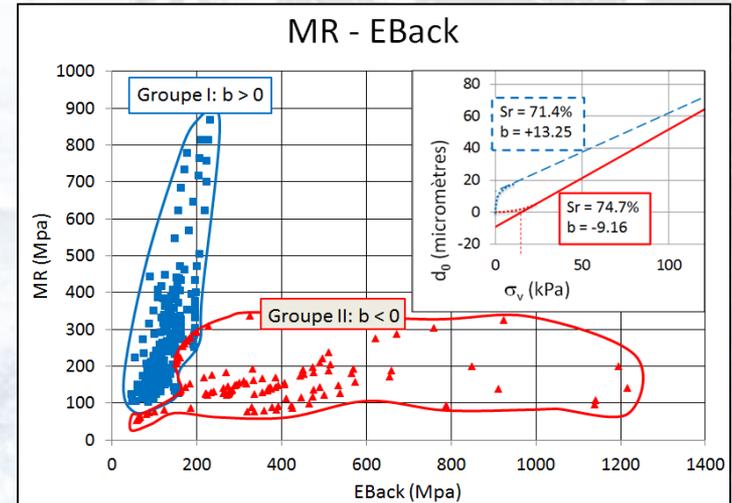
$$\log(M_R) = 0,2967 \log(E_{Back}) - 3,0152Sr^{10} - 0,3642p_{080}^3 + 1,505$$

Potentiel de ségrégation (Groupe I)

$$SP_S = 1,61DV + 19,82 \ln(p_{080}) + 67,46$$

Potentiel de ségrégation (Groupe II)

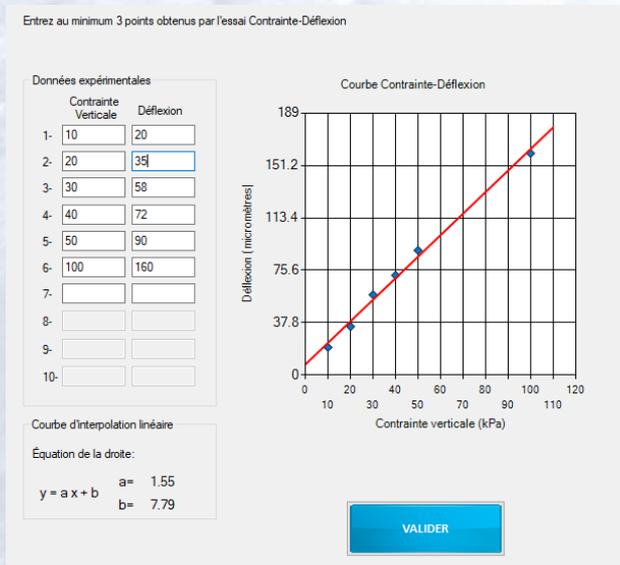
$$SP_A = 189,78LL^{-0,5} + 1,62DV - 266,3$$



Estimation du Mr et SP des sols

Dario Soto (2014)

- Intégration dans i3C-me



Détermination de la structure de chaussée et des propriétés mécaniques des couches

Fichier Paramètre saisonnier Aide

Structure de chaussée

	Matériau	Epaisseur (mm)	Coefficient de poisson
1	Enrobé bitumineux	60	0.00
2	Matériaux granulaire	300	0.35
3	Matériaux granulaire	300	0.35
4	Sol	0	0.35
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Information

Toutes les couches sont parfaitement collées ensemble

- L'épaisseur de la dernière couche doit être égale à 0 mm

- Les épaisseurs en rouge ne suivent pas les recommandations du ministère des transports en ce qui concerne les épaisseurs de pose.

VALIDER LE MODULE

Couche 1 Couche 2 Couche 3 Couche 4 Couche 5 Couche 6 Couche 7 Couche 8 Couche 9 Couche 10

Classe du sol

Classification du sol : SC fin

Propriété mécanique du matériau

Niveau 1 : Mesure obtenue en laboratoire

Estimation à partir du modèle Rahim et George:

Estimation à partir du modèle Soto, Blodeau, Doré:

Pourcentage de particule fine %F: 25 Degré de saturation Sat: 75 Module retrocalculé essais au moule 80

Cas des sables: détermination du paramètre b: Paramètre b Paramètre b: -16.67

Niveau 3 : Valeur typique du matériau

Information



Caractérisation de la viscoélasticité des sols d'infrastructure avec LWD

Mbayang Kandji (2020)

Objectif :

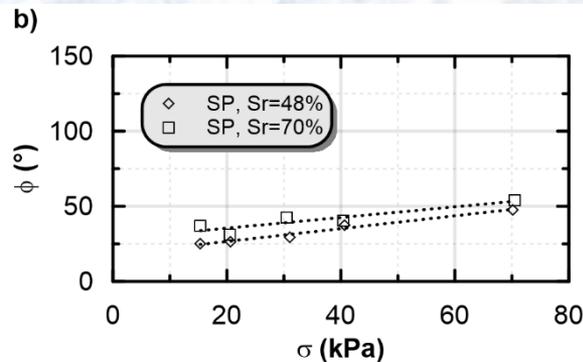
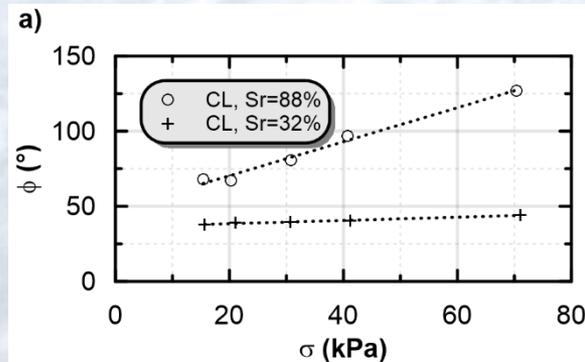
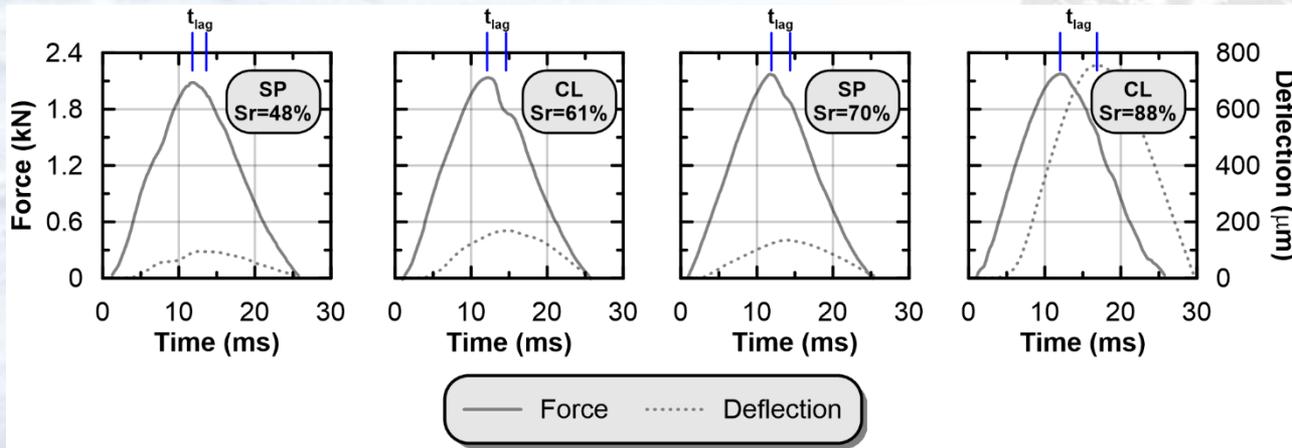
Déterminer le comportement des sols d'infrastructure en se basant sur l'hypothèse d'un comportement viscoélastique et en utilisant le LWD :

- Caractériser la viscoélasticité des sols à différents états de saturation,
- Estimer un module qui tient compte du comportement viscoélastique des sols (angle de phase, énergie dissipée),
- Prédire la déformation du sol avec le modèle de Burger en effectuant des essais triaxiaux à des fréquences de chargement variées.



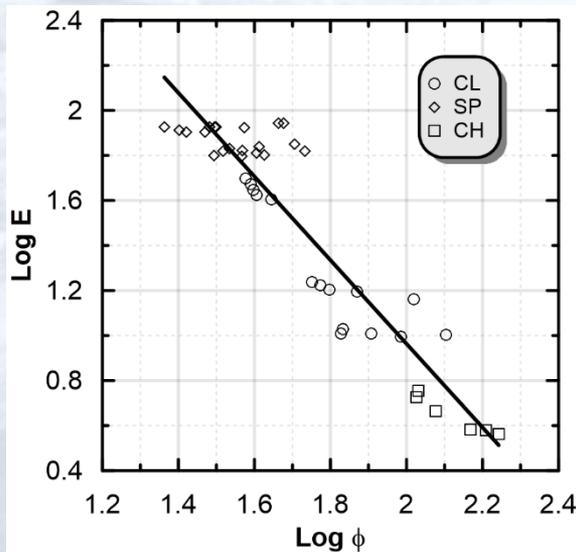
Caractérisation de la viscoélasticité des sols d'infrastructure avec LWD

Mbayang Kandji (2020)

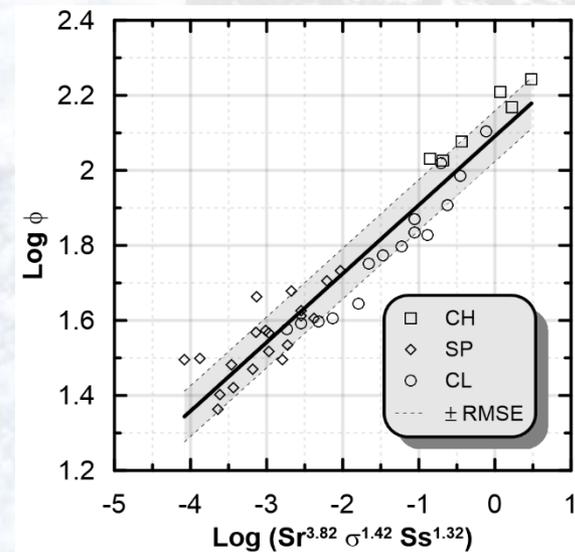


Caractérisation de la viscoélasticité des sols d'infrastructure avec LWD

Mbayang Kandji (2020)



$$\text{Log } E = -1.8581 \times \text{Log } \phi + 4.6794$$



$$\text{Log } \phi = 0.1831 \times \text{Log} (S_r^{3.8235} \sigma_0^{1.4228} S_s^{1.3196}) + 2.091$$

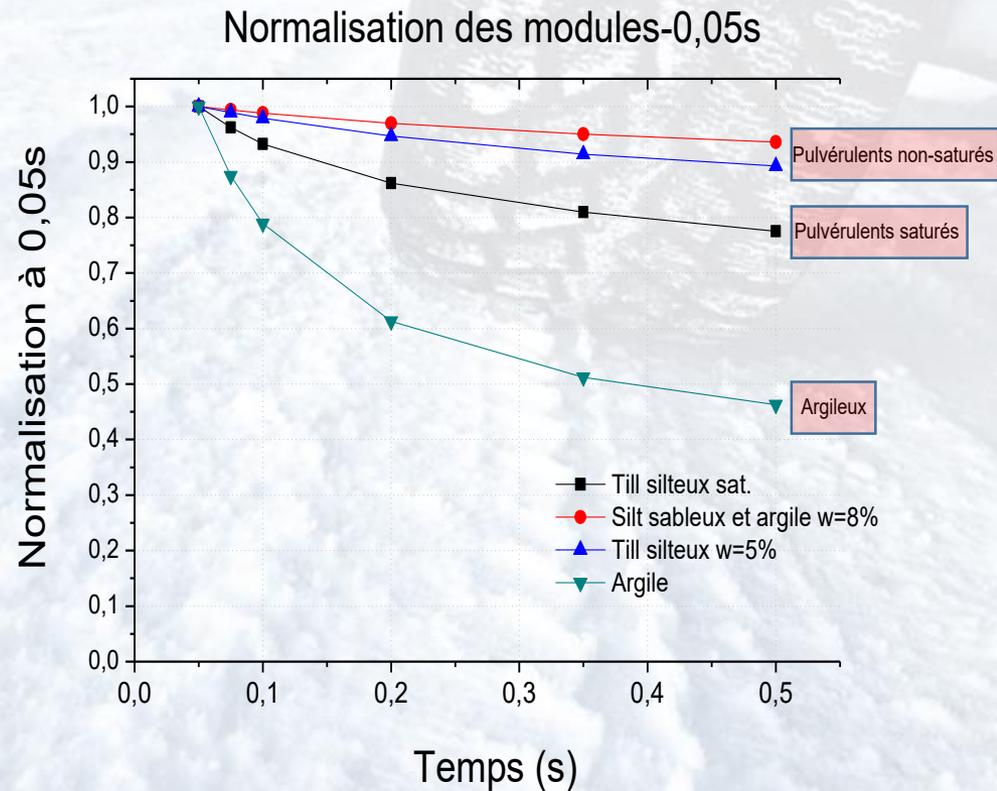
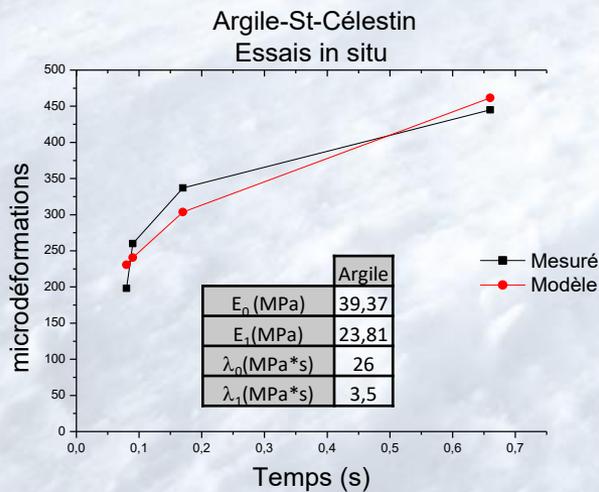
$$\text{LOG } E = -0.3402 \times \text{Log} (S_r^{3.8235} \sigma_0^{1.4228} S_s^{1.3196}) + 0.7941$$



Application de méthodes mécaniste-empiriques pour la conception et la réhabilitation des chaussées municipales

Alejandro Quijano (2011)

- Prise en compte de la vitesse sur le comportement mécanique
- Essais triaxiaux et de terrain pour définir comportement avec le modèle de Burger

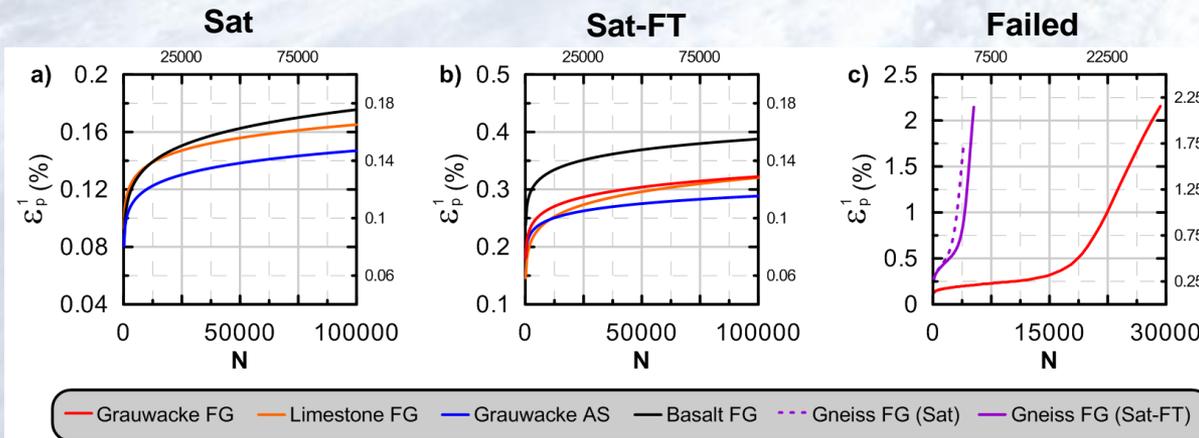


Étude du comportement en déformation permanente des matériaux granulaires en condition de gel saisonnier

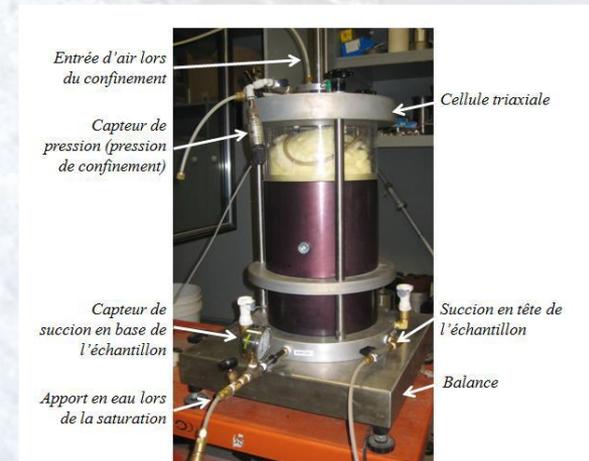
Joannie Poupart (2013)

- Essais de déformation permanente avec cycles de gel et dégel (GD)
- Évaluation des cycles GD sur les lois de comportement

$$\varepsilon_p = aN^b$$



Bilodeau et al. (2012)



Poupart (2013)

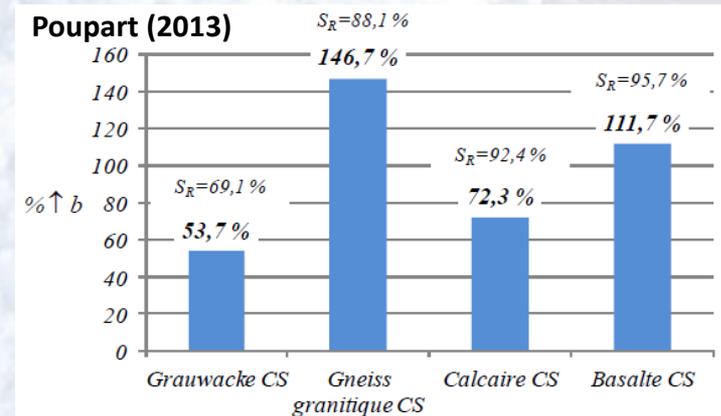
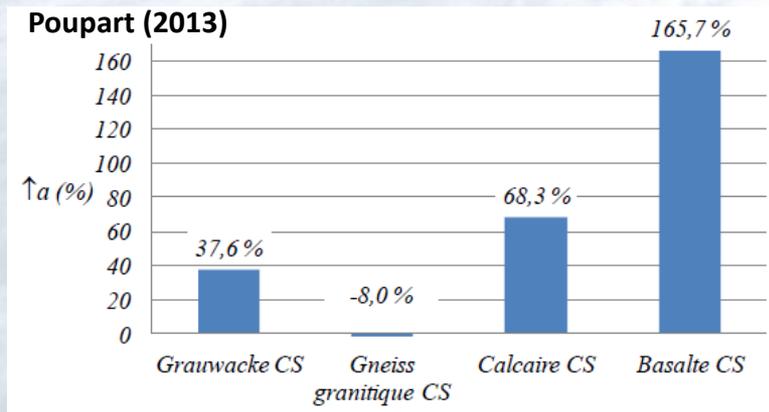
Effet de l'application d'un cycle de gel et dégel (p/r conditions saturées)

Étude du comportement en déformation permanente des matériaux granulaires en condition de gel saisonnier

Joannie Poupart (2013)

- Essais de déformation permanente avec cycles de gel et dégel (GD)
- Évaluation des cycles GD sur les lois de comportement

$$\varepsilon_p = aN^b$$



Effet de l'application d'un cycle de gel et dégel (p/r conditions saturées)



Conclusion

- Importance de la qualité et représentativité des intrants de conception
 - Caractérisation des effets climatiques (gel, teneur en eau) pour analyse saisonnière
 - Caractérisation des effets visqueux pour une définition des propriétés adaptées au contexte (municipal, rural, ...)
 - Effet des caractéristiques des MG et sol
- Emphase sur l'estimation à partir d'essais et/ou équipements simples, accessibles, fiables et reconnus
- Début des travaux d'intégration dans i3C-me



Références

- Soto, D. 2016. Mise au point d'essais simples pour estimer les propriétés mécaniques et la sensibilité au gel des sols et des matériaux de chaussées. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Kandji, M. 2020. Caractérisation de la viscoélasticité des sols d'infrastructure avec le défectomètre portable. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Poupart, J. 2013. Étude du comportement en déformation permanente des matériaux granulaires non liés de fondation de chaussées en contexte de gel saisonnier. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Murillas, A. Q. 2010. Application de méthodes et d'outils mécaniste-empiriques pour la conception et la réhabilitation des chaussées. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Suarez, C. A. M. 2010. Estimation du module réversible des matériaux granulaires de chaussées. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Bilodeau, J.-P. and Doré, G. 2012. Resilient modulus water sensitivity of compacted unbound granular materials used as pavement base. **International Journal of Pavement Engineering**, 13(5): 459-471.
- Bilodeau, J.-P. and Doré, G. and Schwarz, C. 2011. Effect of seasonal frost conditions on the permanent strain behaviour of compacted unbound granular materials. **International Journal of Pavement Engineering**, 12(5): 507-518.
- Tafur, D. S., Doré, G. and Bilodeau, J.-P. 2013. Estimation of subgrade soils mechanical properties and frost sensitivity through the use of simple tests. **Bearing Capacity of Roads Railways and Airfields**, Trondheim, June 25th to 27th.
- Bilodeau, J.-P., Doré, G. and Poupart, J. 2012. Permanent deformation of various unbound aggregates submitted to seasonal frost conditions. Proceedings of **International Conference on Cold Regions Engineering**, August 20th to 22nd, Quebec, Canada.
- Murillas, A. Q., Doré, G. and Bilodeau, J.-P. 2010. Design and rehabilitation of urban pavements. In Proceedings of the 11th **International Conference on Asphalt Pavements** CD-ROM, Nagoya, Japan, August 1st to 6th, 10 p.
- Suarez, C. A. M., Doré, G. and Bilodeau, J.-P. 2010. Resilient modulus estimation for granular materials. In Proceedings of the 11th **International Conference on Asphalt Pavements** CD-ROM, Nagoya, Japan, August 1st to 6th, 9 p.



Questions et commentaires ?

Merci de votre attention !

Partenaires

