



Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
Charges lourdes/Climat/Chaussées



# PROJET 1A-3 :

## ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS DES FONDATIONS RECYCLÉES PRODUITES PAR RETRAITEMENT EN PLACE

Jonas Depatie



UNIVERSITÉ  
LAVAL

Faculté des Sciences et de génie  
Département de génie civil



# Mise en contexte

- Important travail de réhabilitation des chaussées
- En 2008, environ 4,5 million de tonnes de résidus proviennent du secteur de la construction. (en grande partie des infrastructures routières)
- Une très forte proportion des structures de chaussée sont souples
- Diminution des ressources en granulats et augmentation du coût de transport

Une solution envisageable:

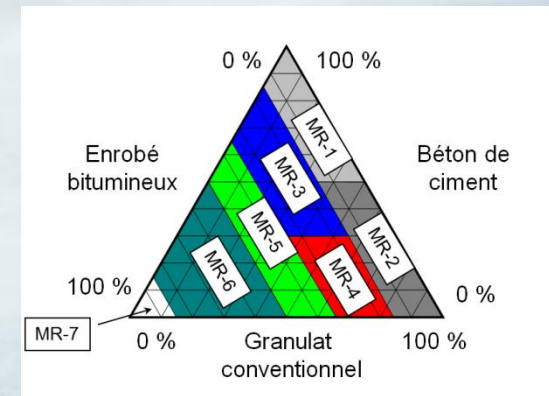
***Réutilisation des matériaux bitumineux***



# À ce jour... au Québec

- Depuis 1992, démarches entreprises favorisant le recyclage (études, normes, classification)
- Utilisation de différentes méthodes de recyclage (retraitement en place, recyclage à froid des enrobés)
- Pour l'instant les démarches entreprises semblent favoriser la récupération des résidus
- **Toutefois, il existe un important besoin de caractérisation du comportement des granulats bitumineux recyclés (GB)**

## La classification



Marquis et al. 1998

- Classification en 7 types de MR (trois constituants)



# Conclusions des études

Tableau récapitulatif

| travaux                | Mélange | Densité Sèche | $W_{opt}$ | Susceptibilité<br>à l'eau | CBR | Module<br>Réversible | Déformation<br>Permanente |
|------------------------|---------|---------------|-----------|---------------------------|-----|----------------------|---------------------------|
| Cooley (2005)          | oui     | ↓             | ↓         | -                         | ↓   | -                    | -                         |
| Garg & Thompson (1996) | non     | ↓             | ↑         | -                         | ↓   | -                    | -                         |
| Mac Gregor (1999)      | oui     | -             | -         | aucun changement          | -   | ↑                    | -                         |
| Bennert & Maher (2005) | oui     | ↓             | ↓         | ↑                         | -   | ↑                    | -                         |
| Papp (1998)            | oui     | ↓             | ↓         | -                         | -   | ↑                    | -                         |
| Sayed (1993)           | non     | -             | ↓         | -                         | ↓   | -                    | -                         |
| Taha (1999)            | oui     | ↓             | -         | aucun changement          | ↓   | -                    | -                         |
| Trzebiatowski (2005)   | non     | ↓             | -         | ↓                         | -   | -                    | -                         |
| Locander (2009)        | oui     | ↓             | ↓         | ↓                         | -   | -                    | -                         |
| Guthrie (2007)         | oui     | ↓             | ↓         | aucun changement          | ↓   | -                    | -                         |
| Gupta S.C. (2009)      | oui     | ↓             | ↓         | ↓                         | -   | ↑                    | ↑                         |
| Saeed (2008)           | oui     | -             | -         | ↓                         | -   | ucun changemer       | ↑                         |
| Tabakovic (2010)       | oui     | -             | -         | ↓                         | -   | -                    | -                         |
| Bergeron (1995)        | oui     | ↓             | -         | ↓                         | ↓   | ↓                    | -                         |
| Kooststra (2010)       | oui     | -             | -         | -                         | -   | -                    | ↑                         |



# Objectifs

À partir des différents besoins relevés, il est possible d'identifier les principaux objectifs suivants :

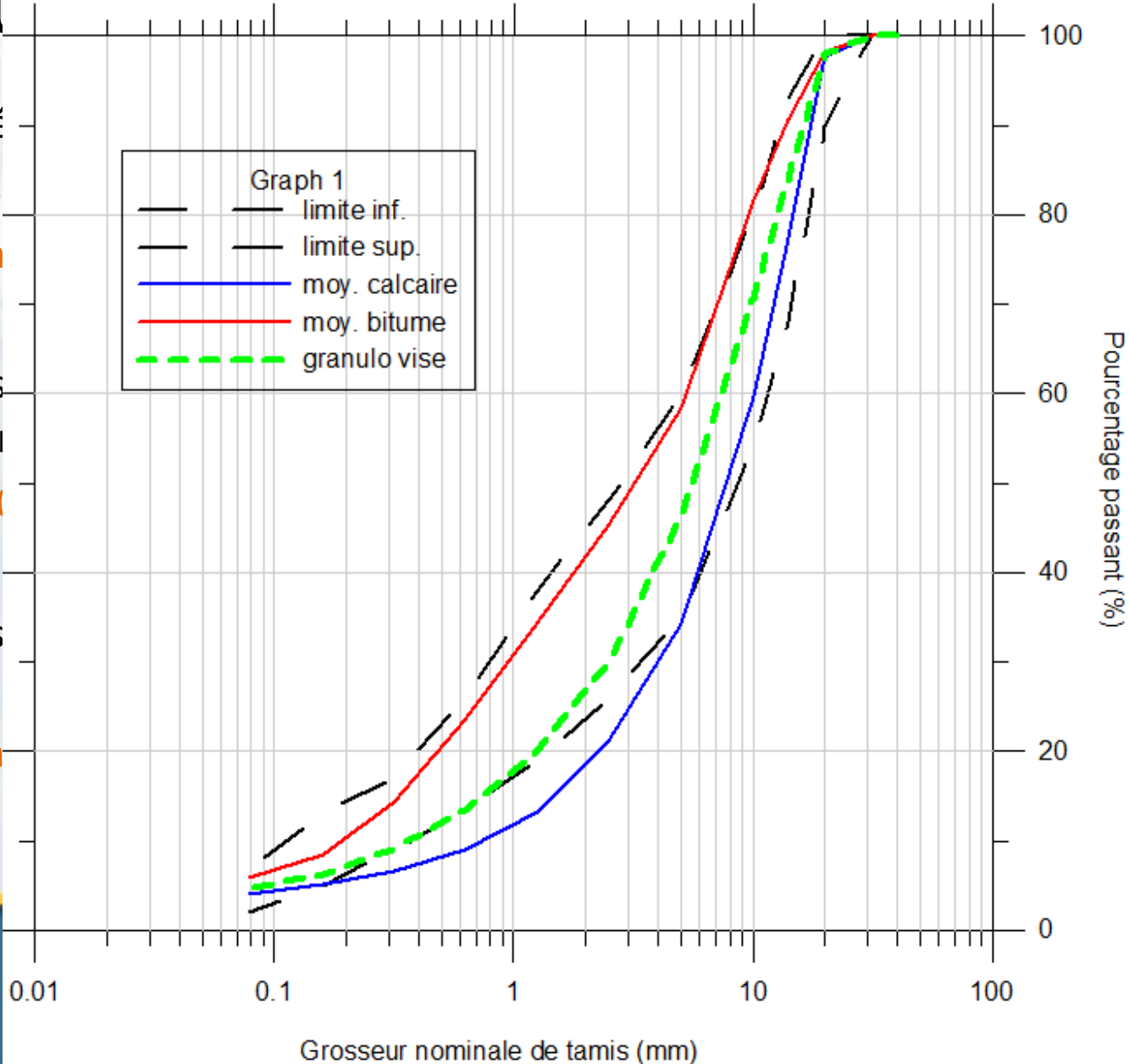
- Identifier les caractéristiques qui contribuent au bon comportement mécanique;
- Quantifier les propriétés mécaniques, leur variabilité, l'évolution de la densité des MR et son effet sur les autres propriétés ;
- Quantifier la variabilité et les propriétés physiques des MR échantillonnés en chantier
- Identifier des solutions techniques aux problèmes;



**Courbes granulométriques moyennes  
du béton bitumineux concassé et du calcaire  
ainsi que la courbe granulométrique visé.**

# Mat

- Maté
- Rés
- Gra
- Utilis
- diffé
- 0 - 30
- Dans
- varia
- Gran



à l'eau)  
 (dité)  
 (orniérage)  
 (iérage)  
 S  
 es

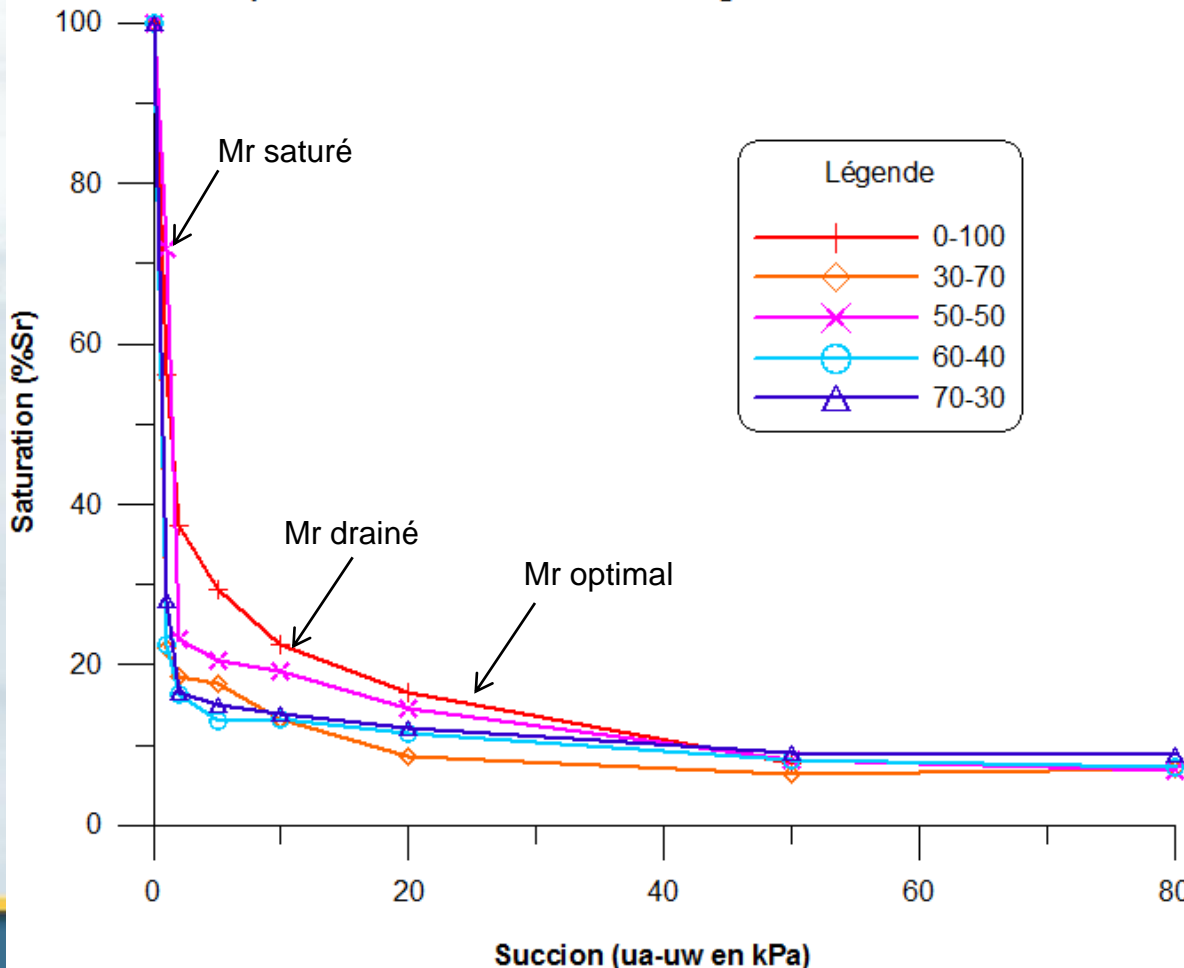


# Les Résultats



# Essais de Succion

Courbe de rétention d'eau pour les différents mélanges de GBR



Importance de la teneur en GB à de bas niveaux de succion (2 à 20 kPa)

## Analyse

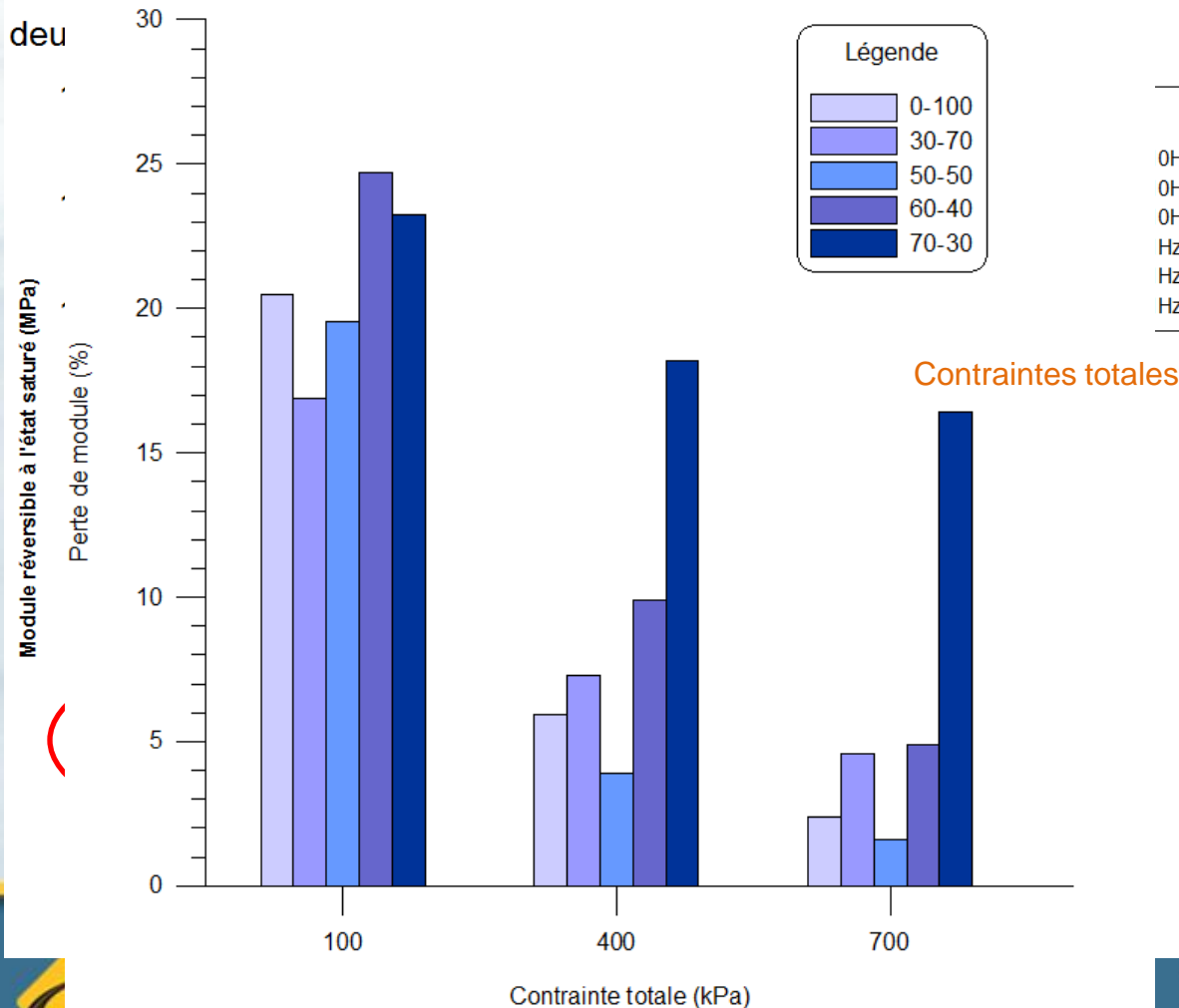
- Modèle du module ( $M_r$ ) en fonction de la saturation/succion





# Module Réversible

Perte de module ( $\Delta Mr$ ) des différents mélanges entre l'état initial et l'état saturé pour les trois niveaux de contraintes totales.



## Sensibilité à l'eau

50 % GB  $\approx$  matériau vierge

50% GB = plus sensible  
- Diminution de la rigidité avec l'augmentation de la teneur en bitume

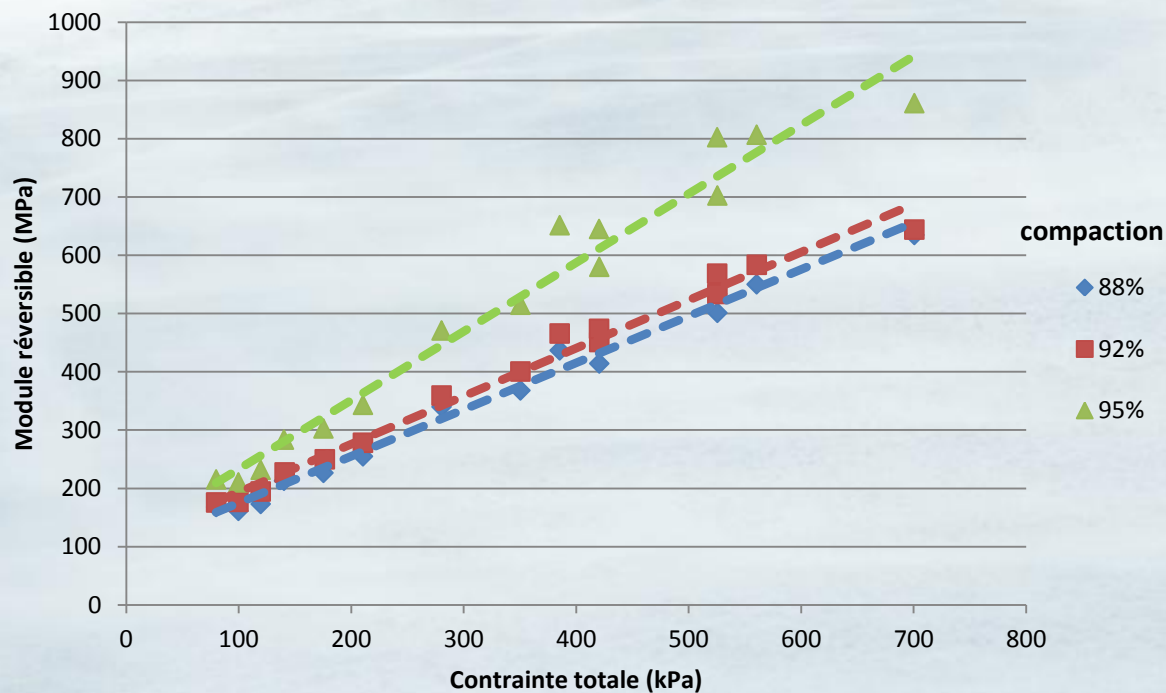
Effet de la fréquence  
 $\Delta Mr \approx 5\%$



# Module Réversible

## Effet de la compaction

Influence de la compaction sur le module réversible des matériaux de fondation recyclés



Perte relative (95%)

Comp.                      perte %

92% → 22%

88% → 27%



# Déformation Permanente

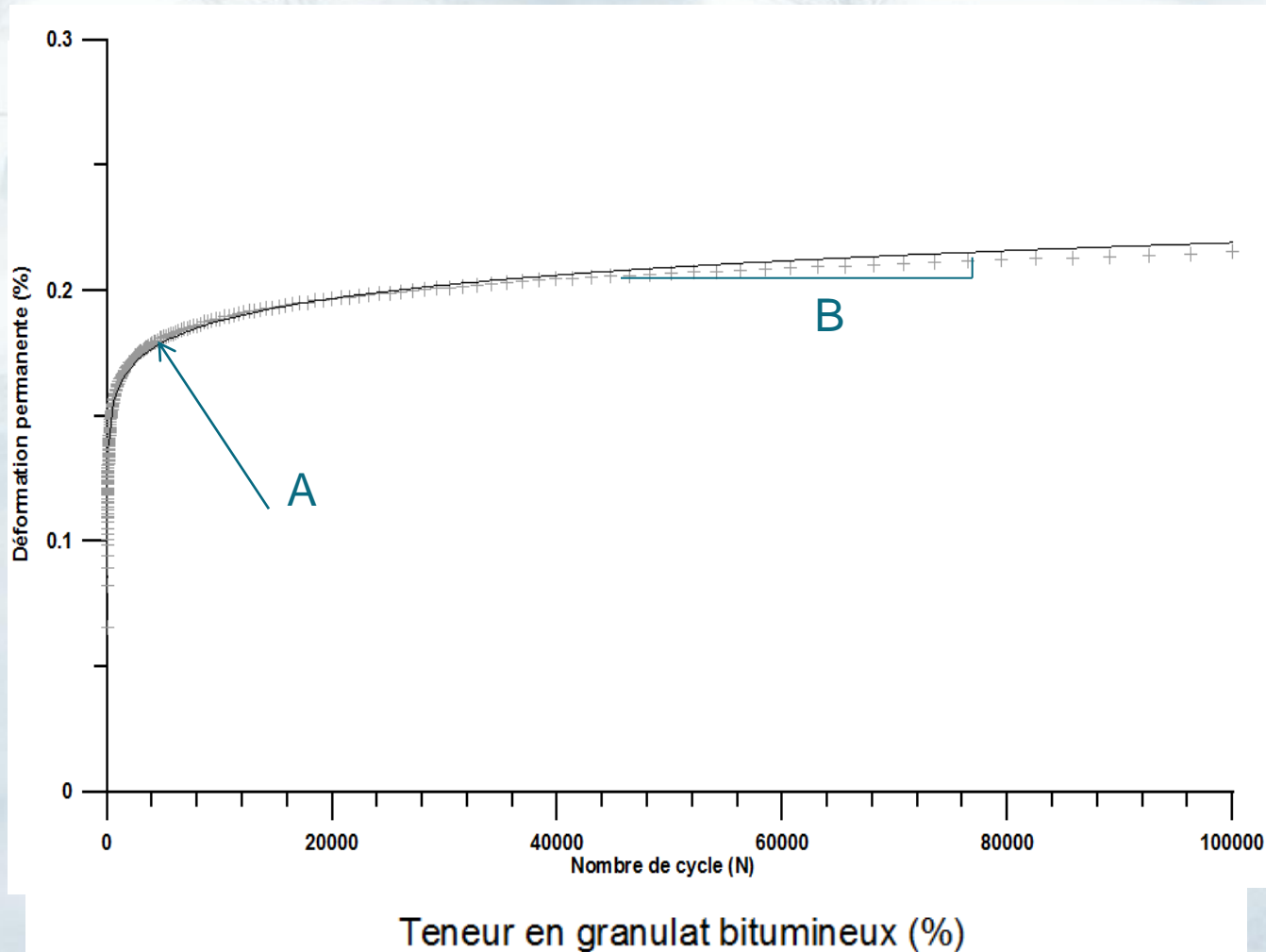
Presse cyclique



Compaction de l'échantillon



# Déformation Permanente



Le But :

Légère augmentation  
du taux de déformation  
isolée en chaque point  
avec l'augmentation du  
pour obtenir un modèle  
%GBR  
fonction de la  $\Theta$   
et du % GBR  
Cassure à 50% GBR

$$\epsilon_p^1 = A \left( \frac{N}{1000} \right)^B$$

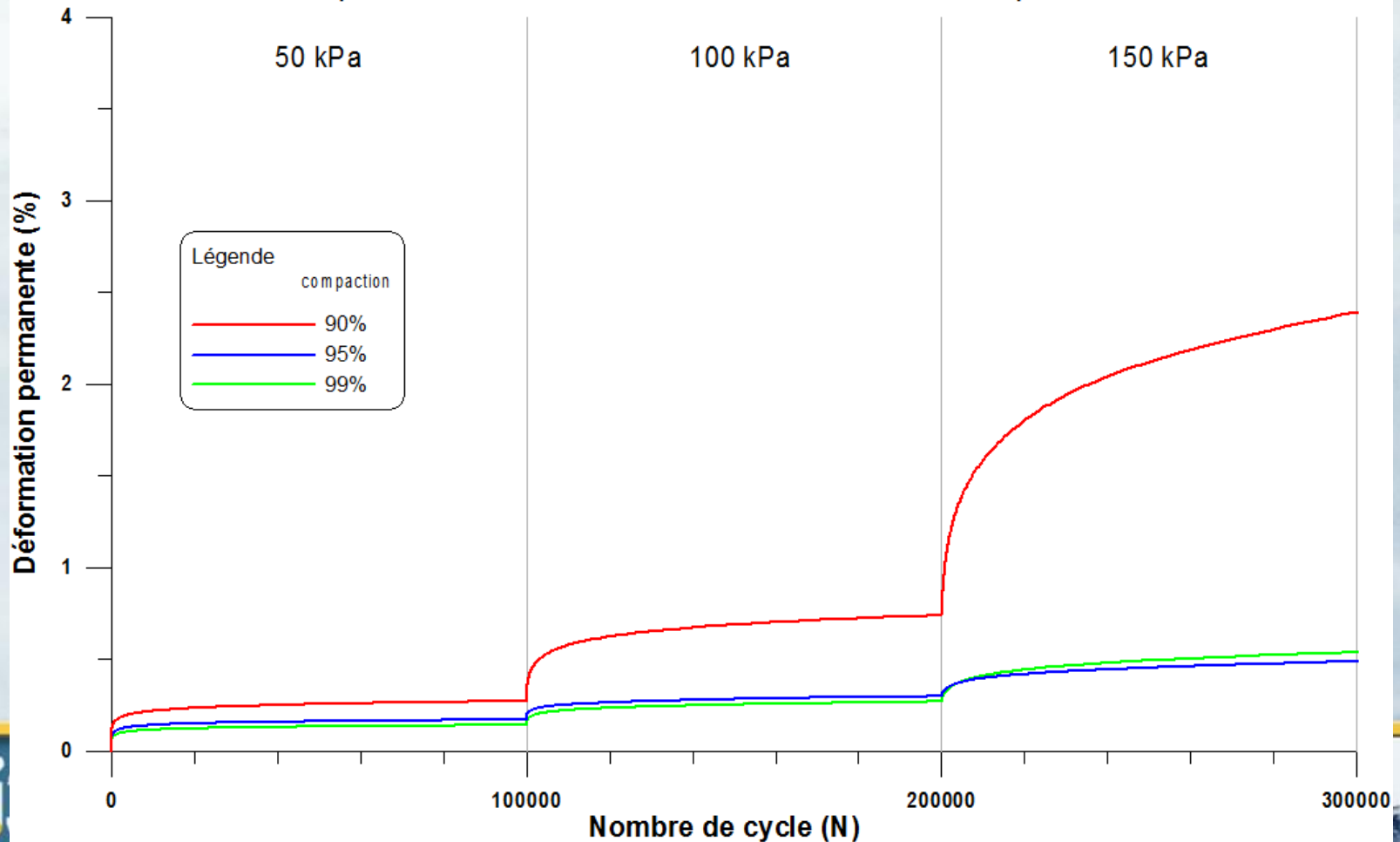
Modèle de Dresden



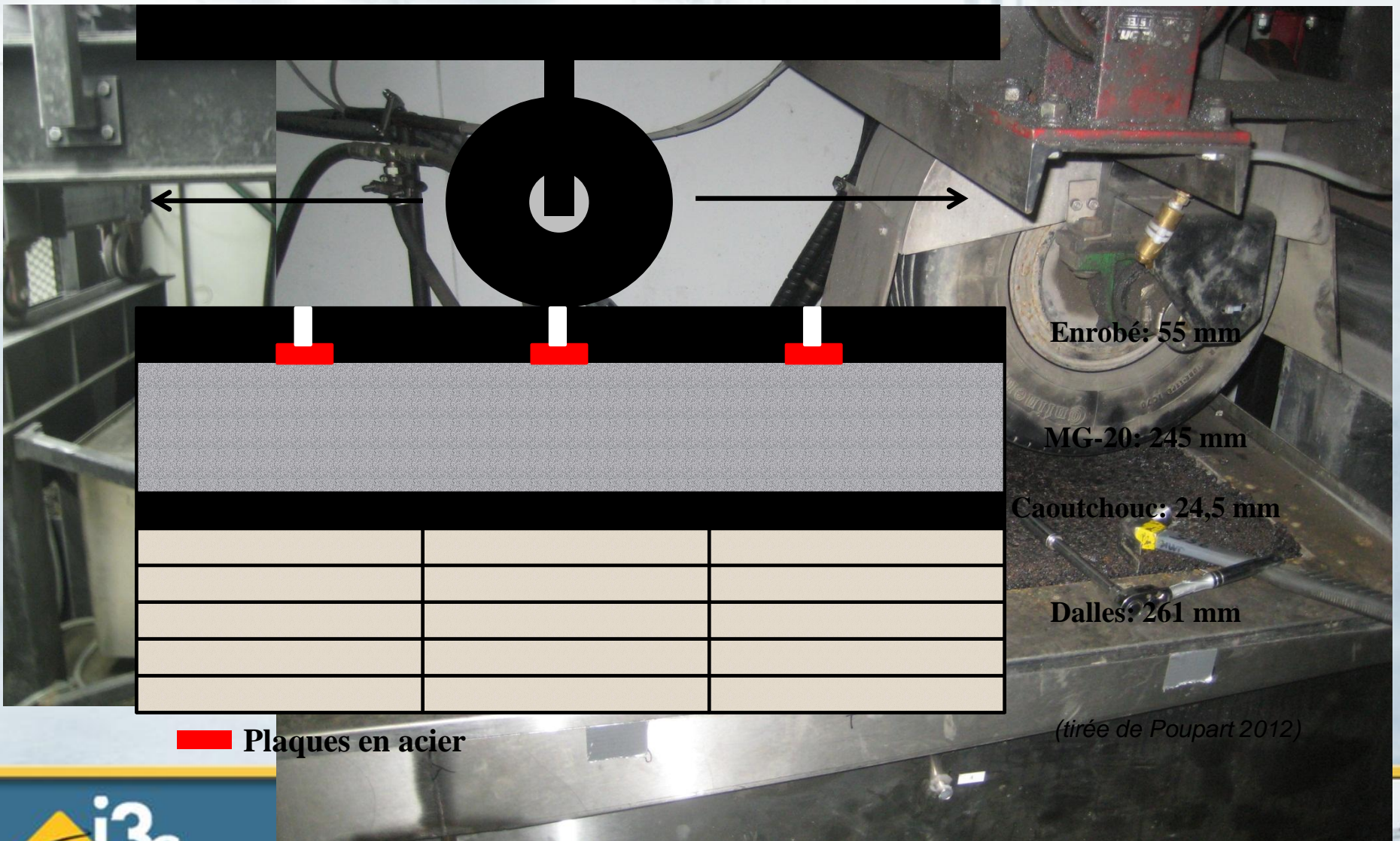
# Déformation Permanente

## Effet de la compaction

Effet de la compaction sur le comportement en déformation permanente des matériaux de fondations de chaussées pour différents états de contrainte déviatorique



# Le Simulateur



Enrobé: 55 mm

MG-20: 245 mm

Caoutchouc: 24,5 mm

Dalles: 261 mm

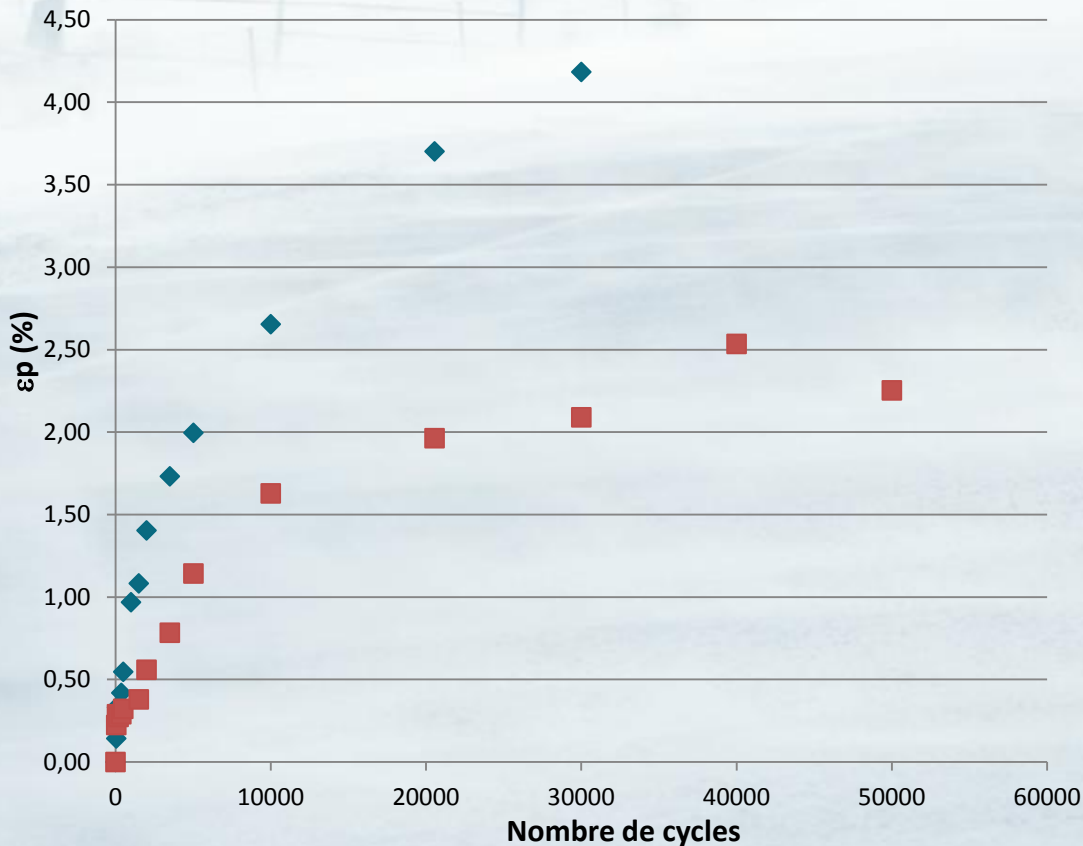
 Plaques en acier

(tirée de Poupart 2012)



# Essais au simulateur

## Déformation de la fondation en condition optimale



Déformation plus élevée pour les matériaux recyclés

Paramètre B beaucoup plus important

Analyse à venir

- 70-30
- Méthode palliative (géogrille sur 50-50)



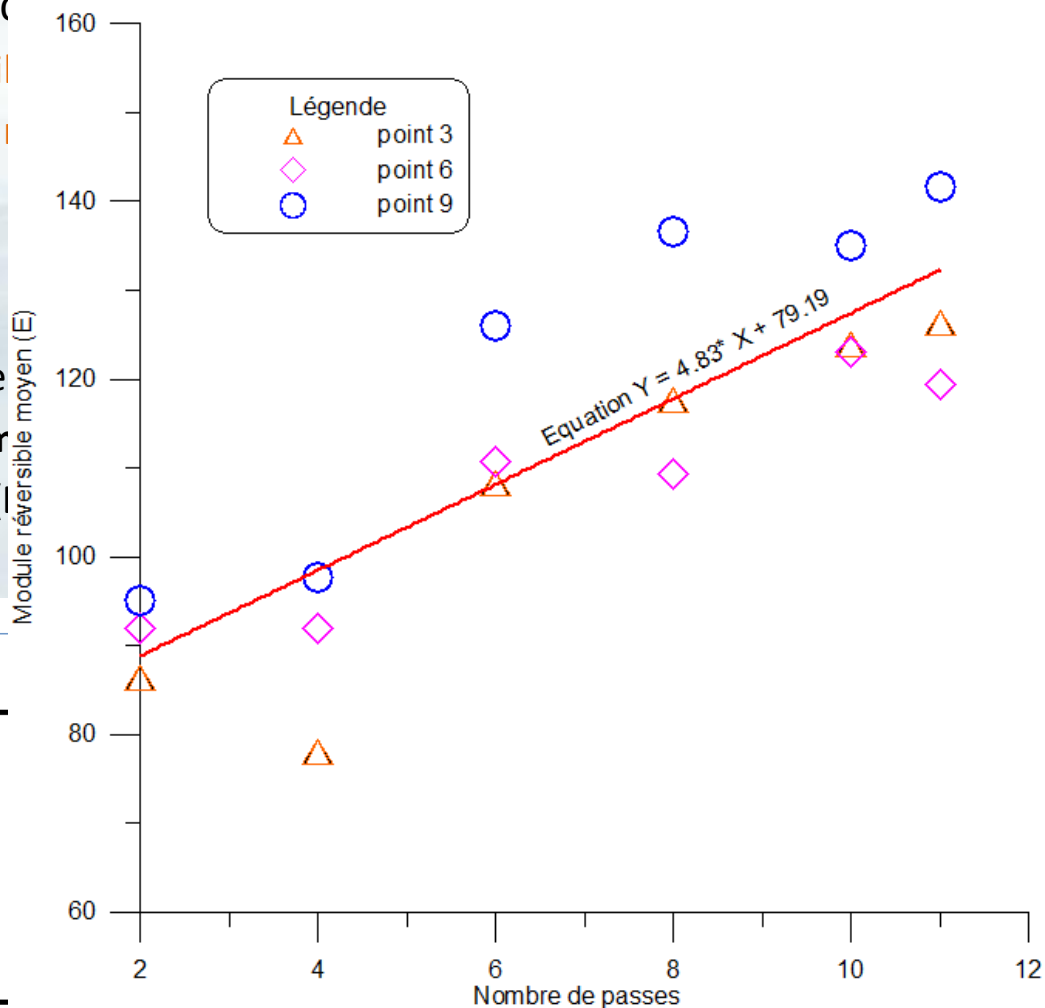
# PARTIE TERRAIN

- 3 chantiers pour permettre la c



12 11 10 9 8

Évolution du module réversible en fonction du nombre de passes pour les points 3, 6 et 9

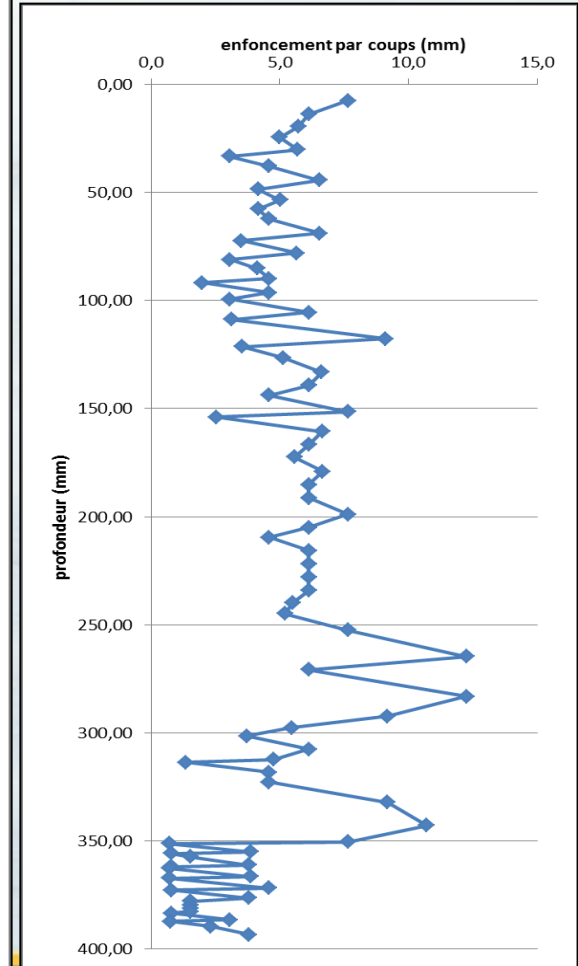
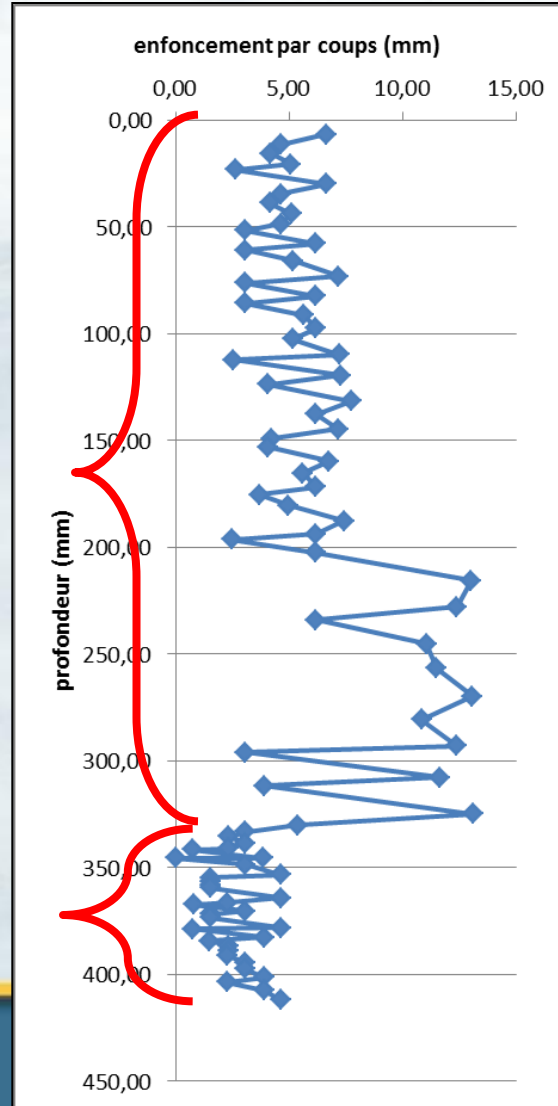




# Essais au DCP

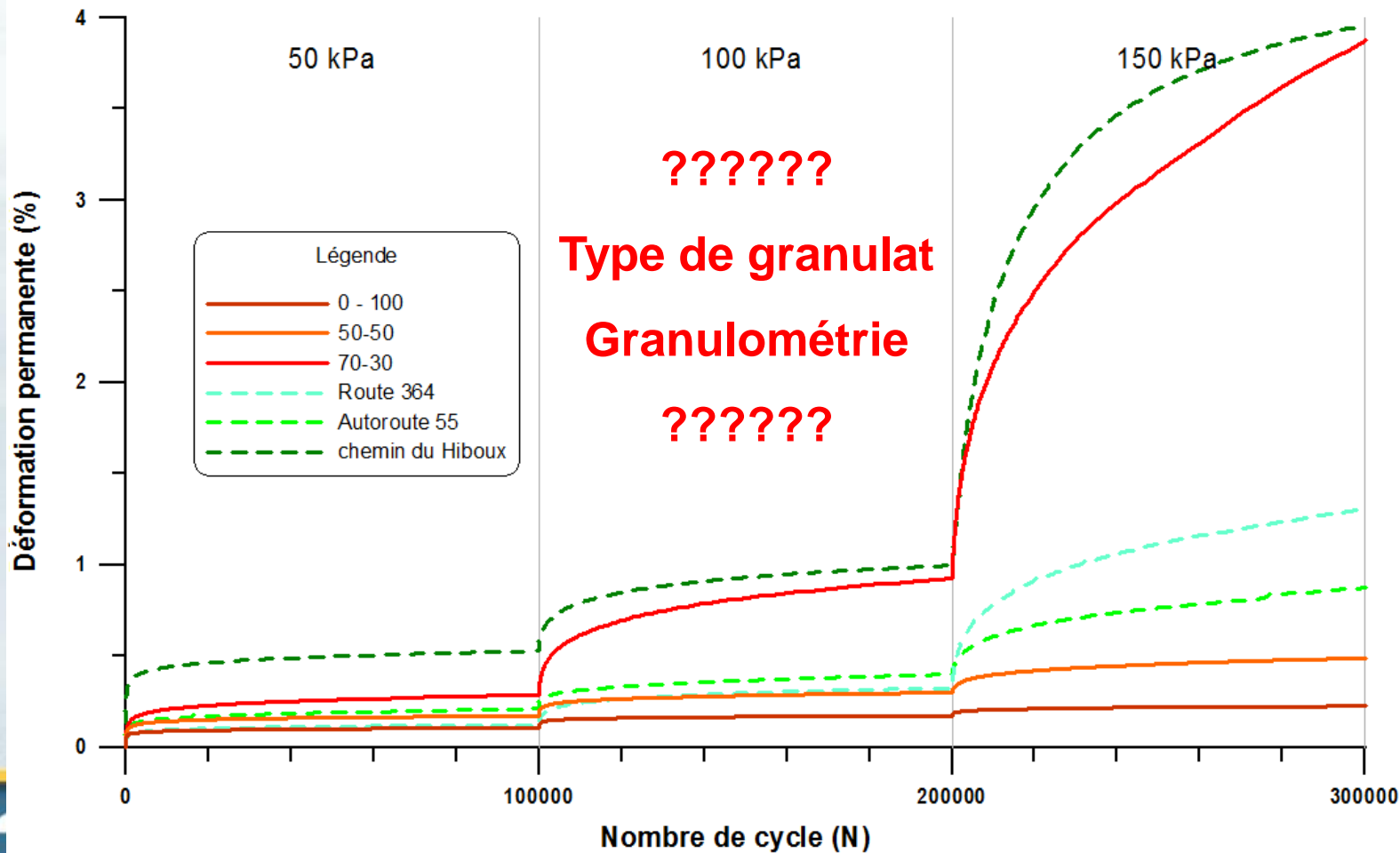
Autoroute 55

Route 364



# PARTIE TERRAIN

Comportement en déformation permanente des matériaux de chantier pour différents états de contrainte déviatorique



# En conclusion

- **Module Réversible** (rigidité)

- Les résultats viennent appuyer les balises imposées dans la pratique, limitant à 50% la teneur en GB lors d'un retraitement en place.

- **Déformation Permanente**

- Un suivi plus rigoureux doit être fait lors d'un retraitement en place à 50% GB de diminuer les risques de post-compaction.

- **Sensible à la compaction**

- Épaisseur de couche





Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
Charges lourdes/Climat/Chaussées

# Merci de votre attention

# QUESTIONS ???

PARTENAIRES



Faculté des Sciences et de génie  
Département de génie civil



LVM

DESSAU

