



Centre de recherches routières

Votre partenaire pour des routes durables

## Etude des empièvements en sous-fondations Evaluation des performances des matériaux naturels, recyclés et artificiels



Yves HANOTEAU

# But de l'étude CRR

- Suite au critère de facteur gel/dégel (F) fixé à 2%, l'ensemble des granulats recyclés et artificiels ne répondent pas aux prescriptions imposées dans les marchés de travaux routiers soumis à l'application du CCT Qualiroutes 2017.
  - Un échantillon d/D (8/16 mm) saturé en eau est soumis à 10 cycles chaud/froid (20 °C à -17,5°C) en marquant une pause à 0 °C. Mesure du passant à un tamis d/2 (4 mm) de l'échantillon final
- Contrôler la validité de l'essai de gel/dégel pour des structures routières belges via un programme d'essais validé par le secteur et le SPW M&I en cours au CRR et éventuellement proposer un ou des critères adaptés aux contraintes réellement subies par les granulats.



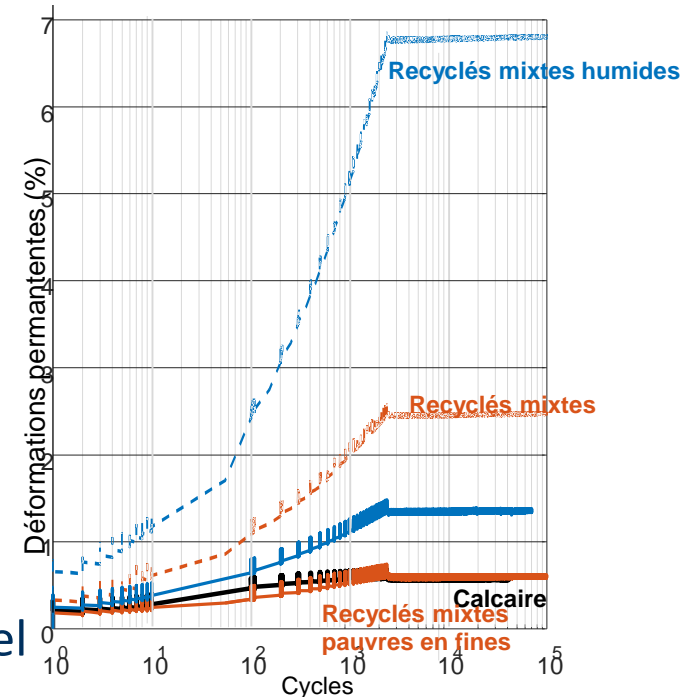
# Projet Aperrou (DG06): CRR - ULg - CTP



## Coefficient gel – dégel (F)

- Recyclés de béton : 4 – 12 %
- Recyclés mixtes : 10 – 18 %
- Calcaires : 0,8 – 1 %
- Grès : 1 – 1,5 %
- Mâchefers : 4 – 12 %

Pas d'augmentation des déformations permanentes après un conditionnement identique à l'essai gel/dégel



# Programme de travail CRR

- Lancer un programme d'essais sur un certain nombre de matériaux granulaires couramment utilisés en sous-fondation:
  - 2 recyclés mixtes dont les valeurs F mesurées sont compris entre 10 et 12% et la teneur en fines (f) est également comprise entre 10% et 12% + 1 recyclé mixte à teneur en fines < 7%
  - 2 recyclés de béton
  - 1 mâchefer
  - 1 grès
  - 1 calcaire
- Contrôle en laboratoire des matériaux: analyse granulométrique (f), gel/dégel (F), valeur au Bleu, études Proctor/CBR, mesure de la déformation permanente par l'essai triaxial cyclique, pilotes de mesure de la perméabilité

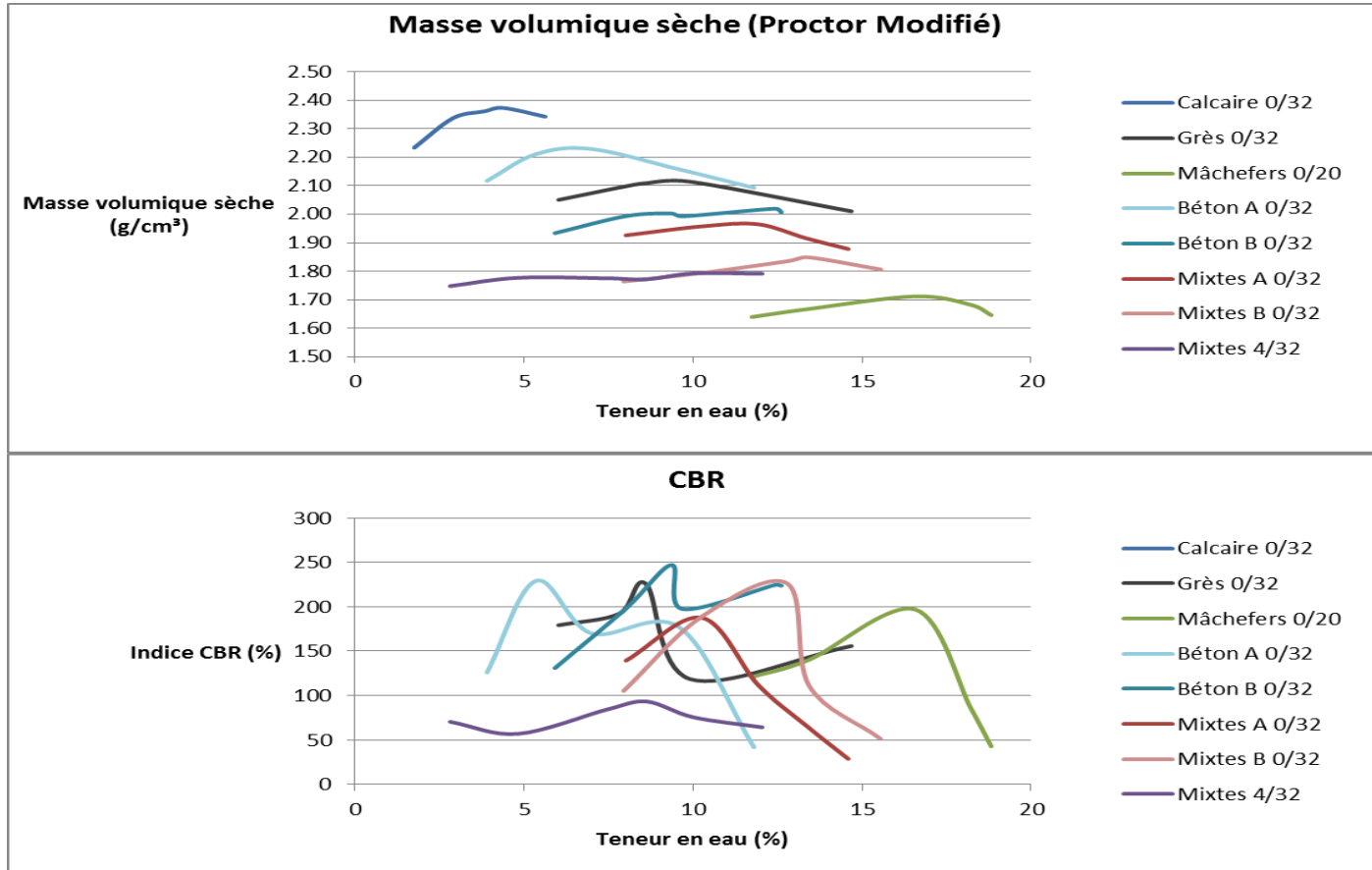


# Matériaux de sous-fondation de l'étude CRR

	<b>Fines</b>	<b>Essais de durabilité</b>		<b>Gel-dégel</b>
	passant 63 µm (%)	LA (%)	MDE (%)	F (%)
<b>Qualiroutes</b>	<b>&lt; 7</b>	<b>&lt; 40</b>	<b>&lt; 50 (R IIb et III)</b>	<b>&lt; 2 (avant 07/18)</b>
<b>Calcaire 0/32</b>	6,1	18	13	0,8
<b>Grès 0/32</b>	8,8	17	27,5	1,4
<b>Mâchefers 0/20</b>	10,0	37	21,5	8,0
<b>Recyclés de béton 0/32</b>	4,0	27	30,5	4,3
<b>Recyclés de béton 0/63</b>	4,7	36	30	12,0
<b>Recyclés mixtes A 0/32</b>	10,7	38	43,5	11,9
<b>Recyclés mixtes B 0/32</b>	10,3	44	50,5	11,6
<b>Recyclés mixtes f&lt;7%</b>	5,7	36	35	10,3



# Matériaux de sous-fondation de l'étude CRR



# Gel/dégel: essai au sulfate de magnesium

Tableau B.1 — Catégories de sévérité du gel-dégel en fonction du climat et de l'emploi

Conditions environnementales	Climat		
	Méditerranéen	Atlantique	Continental <sup>a)</sup>
Situation sans gel ou sèche	NR	NR	NR
Saturation partielle	NR	$F_4$ ou $MS_{35}$	$F_2$ ou $MS_{25}$
Saturé	NR	$F_2$ ou $MS_{25}$	$F_1$ ou $MS_{18}$

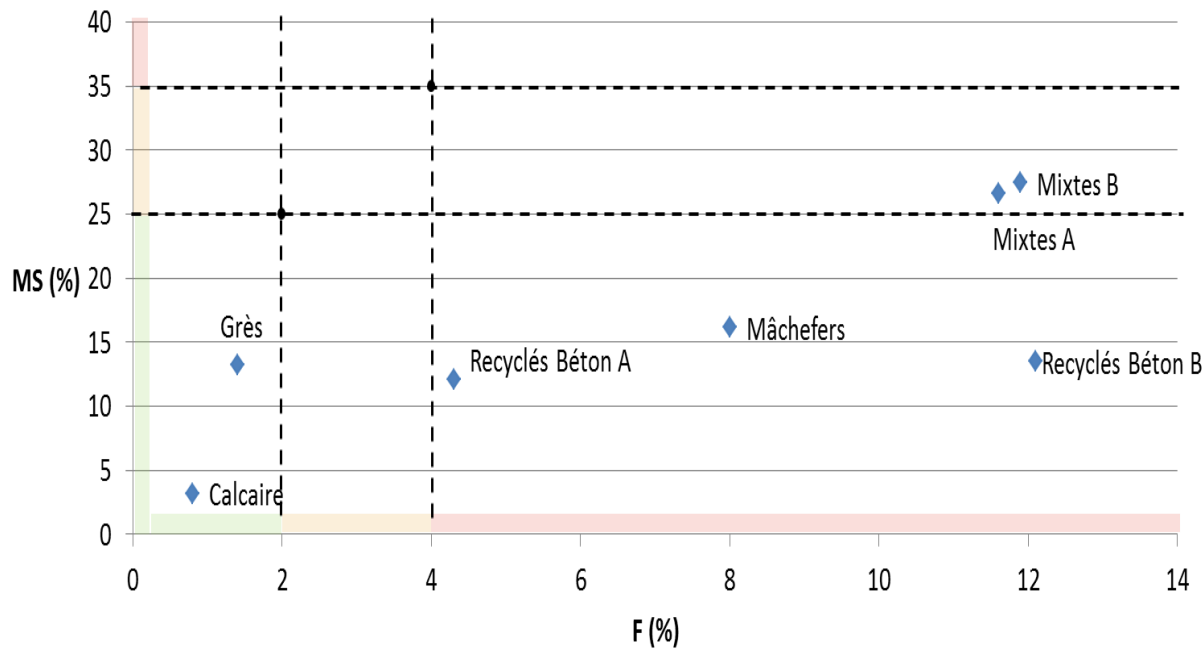
*a) La catégorie «climat continental» pourrait également s'appliquer à l'Islande, certaines parties de la Scandinavie et aux régions montagneuses où les conditions climatiques sont rigoureuses en hiver.*

- Qualiroutes propose comme critère  $F \leq 2\%$ , ce qui correspond dans la norme au seuil pour un climat continental en saturation partielle.
- Une utilisation du critère  $F \leq 4\%$ , correspondant à  $MS \leq 35\%$ , pourrait dès lors être envisagée pour la Région Wallonne



# Gel/dégel: essai au sulfate de magnesium

Comparaison des résultats des essais de résistance au gel - dégel F et MS



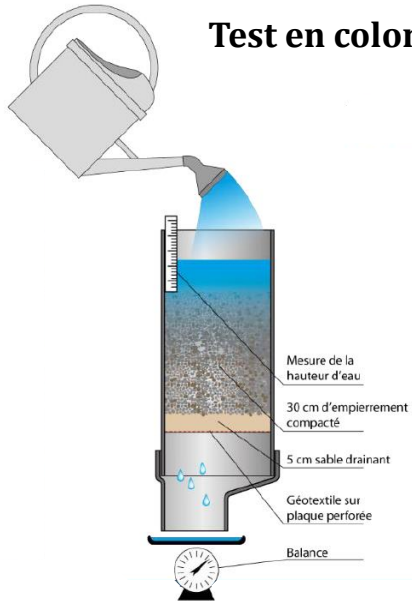
Matériau	Valeurs mesurées		
	MS (%)		Moyenne
	Echantillon 1	Echantillon 2	
Calcaire 0/32	2.72	3.60	<b>3.2</b>
Grès 0/32	16.17	10.20	<b>13.2</b>
Mâchefers 0/20	16.40	15.96	<b>16.2</b>
Mâchefer 0/20 (autre origine)	15.48	9.90	<b>12.7</b>
Recyclé de béton A	10.50	13.77	<b>12.1</b>
Recyclé de béton B	10.65	16.40	<b>13.5</b>
Recyclé mixte A	28.40	26.54	<b>27.5</b>
Recyclé mixte B	27.65	25.45	<b>26.6</b>





# Mesures de la perméabilité

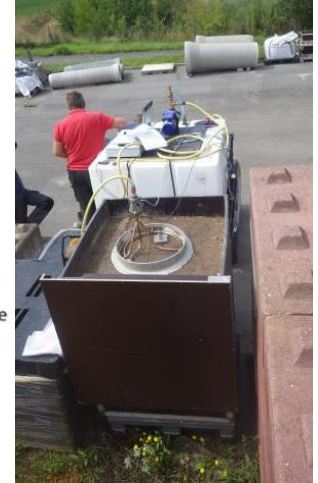
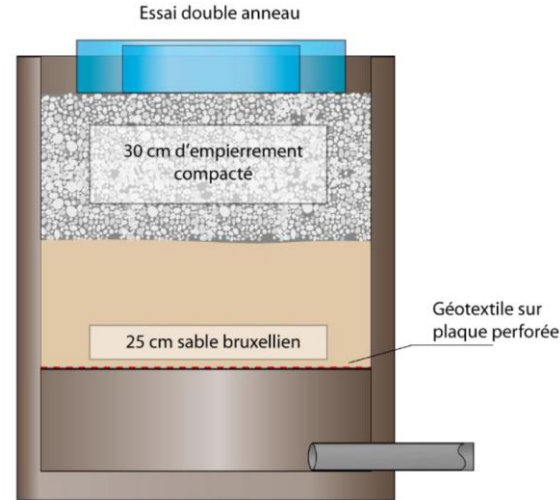
## Test en colonnes



### Validation des résultats sur un sable drainant

Essai	Coefficient K (m/s)
Perméamètre de laboratoire	$1,95 * 10^{-4}$
Essai de perméabilité en colonnes	$1,58 * 10^{-4}$

## Test en pilote



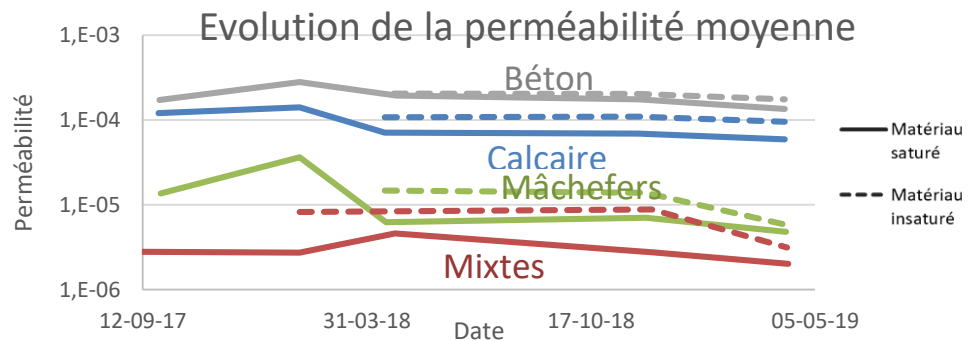
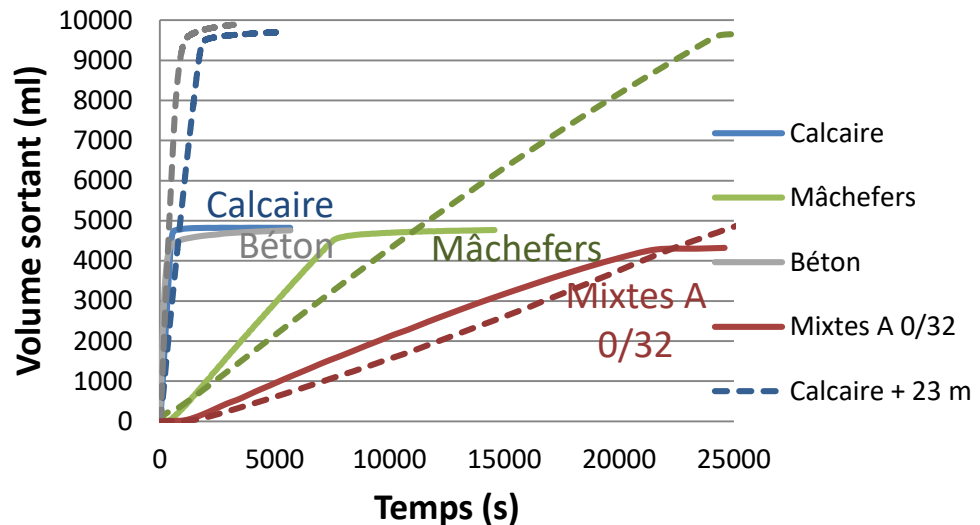
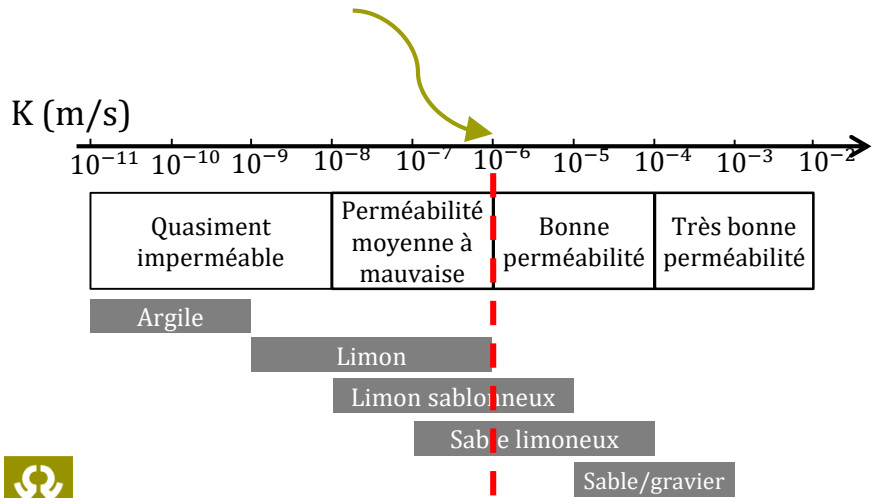
### Comparaison des résultats sur le recyclé mixte

Essai	Coefficient K (m/s)
Essai pilote + double anneau	$4,47 * 10^{-6}$
Essai de perméabilité en colonnes	$2,56 * 10^{-6}$



# Mesures de la perméabilité: essais en colonnes

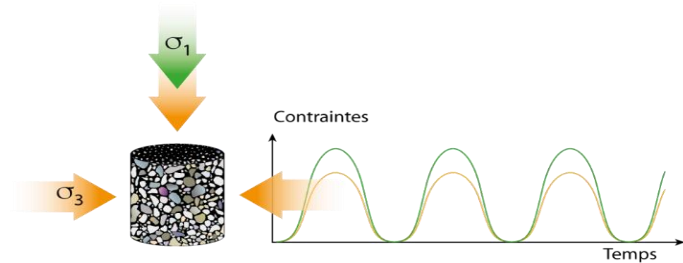
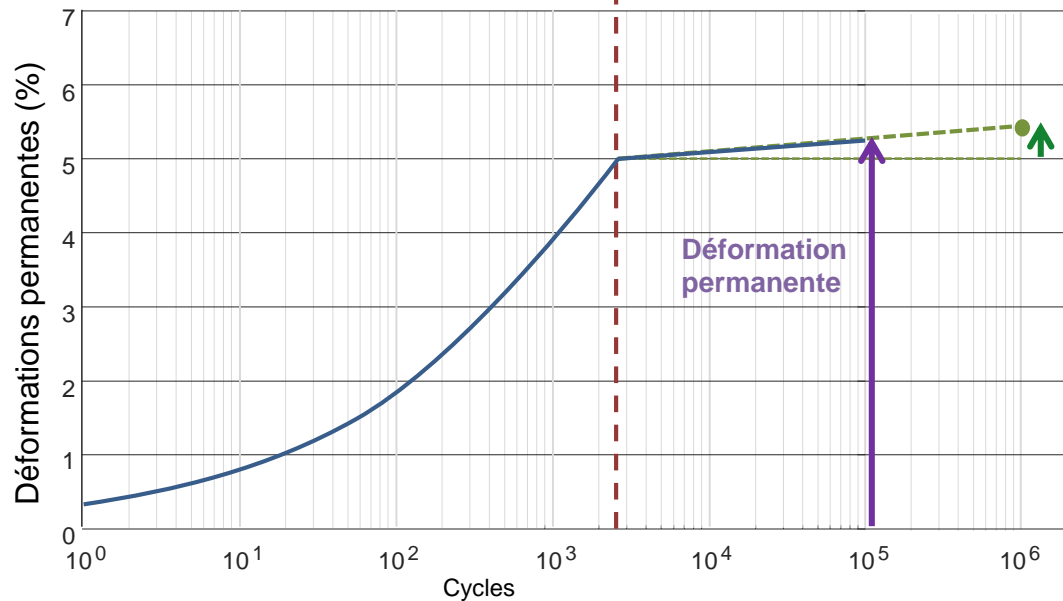
	Coefficient K moyen
Calcaire 0/32	$1.2 \cdot 10^{-4}$
Sable drainant	$1.6 \cdot 10^{-4}$
Béton 0/32	$1.7 \cdot 10^{-4}$
Mâchefers 0/20	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Mixtes A 0/32	$2.8 \cdot 10^{-6}$



# Essai triaxial cyclique

**Phase I:**  
2 500 cycles  
contraintes élevées  
simulation de la mise en œuvre

**Phase II:**  
100 000 cycles  
contraintes faibles  
simulation des charges de trafic

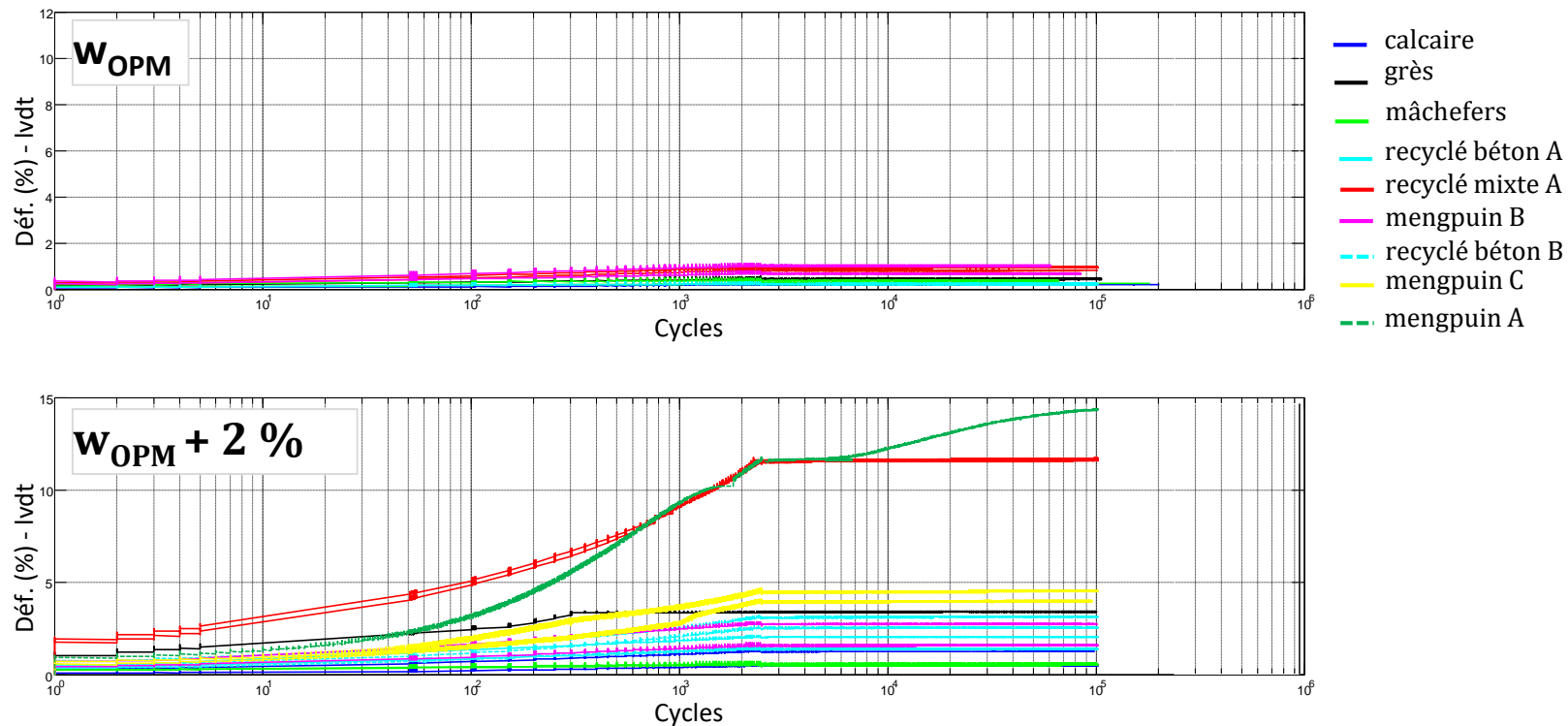


Déformation  
en service  
après  $10^6$   
cycles



# Essai triaxial cyclique

## Précharge 2500 cycles + 100 000 cycles - contraintes sous-fondations



# Essai triaxial cyclique

Déformations permanentes à 100 000 cycles

	< 1 %	1-2%	> 5 %
<u>Wopm</u>  contraintes sous-fondations	Calcaire Grès Betonpuin A Recyclé mixte Mengpuin B Mâchefers		
<u>Wopm + 2 %</u>  contraintes sous-fondations	Calcaire Grès Betonpuin (A et B) Mengpuin (B et C) Recyclé mixte Mâchefers		Mengpuin A
<u>Wopm + 2 %</u>  contraintes sous-fondations (200 cycles précharge)	Calcaire Mengpuin B		Recyclé mixte

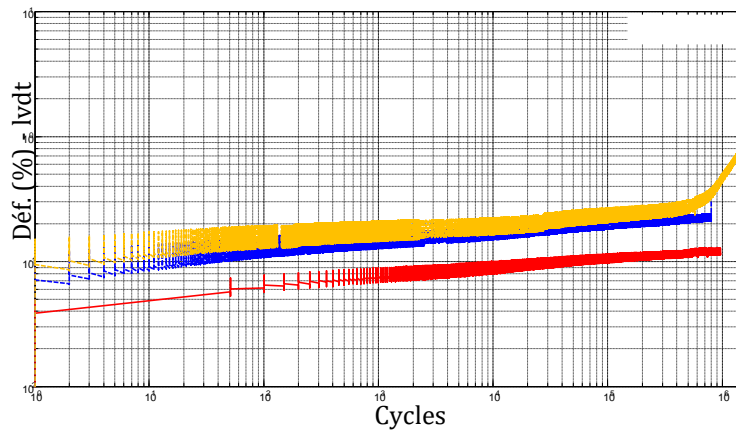
Déformations permanentes extrapolées à un million de cycles (comportement après précharge)

	< 1 %	1-5%	> 5 %
<u>Wopm</u>  contraintes <u>sous-fondations</u>	Calcaire Grès Betonpuin A Recyclé mixte Mengpuin B Mâchefers		
<u>Wopm + 2 %</u>  contraintes <u>sous-fondations</u>	Mâchefers	Calcaire Betonpuin (A et B) Grès Mengpuin (B et C)	<b>Mengpuin A</b> Recyclé mixte  <i>Mengpuin B (w=16 %)</i>
<u>Wopm + 2 %</u>  contraintes <u>sous-fondations</u> (200 cycles précharge)	Calcaire	Mengpuin B	<b>Recyclé mixte</b>



# Essai triaxial cyclique: 1 million de cycles

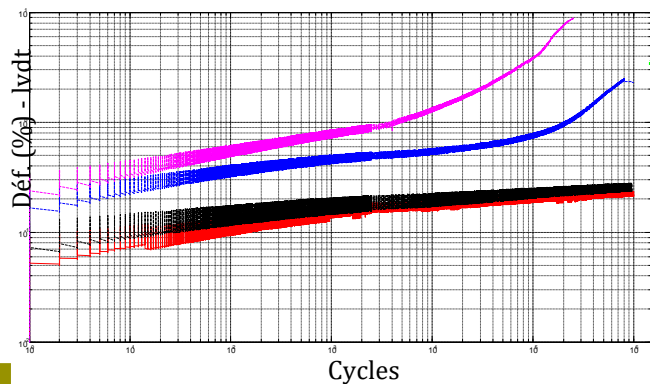
CALCAIRE



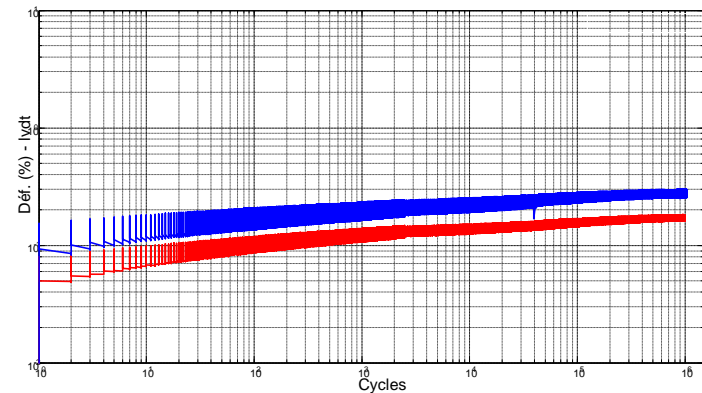
Fondation

Sous-fondation

RECYCLE MIXTE A



RECYCLE MIXTE B



# Conclusions

- Résultats obtenus pour les essais traditionnels concordent bien avec les valeurs attendues sur base des nombreux échantillons testés lors d'études précédentes mais également en comparaison avec les bases de données des producteurs (FEREDECO, COPRO, IPALLE, SUEZ, etc...).
- Les résultats obtenus par les matériaux recyclés et artificiels à l'essai alternatif de mesure de la résistance au gel-dégel (NBN EN 13242 - essai au sulfate de magnésium) permettent de classer différemment ces matériaux par rapport à l'essai de sensibilité repris dans le CCT Qualiroutes leur faisant subir des cycles de gel-dégel.



# Conclusions

- Une méthode d'essai a été développée afin de mesurer la perméabilité des matériaux granulaires de sous-fondation. Tous les matériaux testés peuvent être considérés comme perméables mais leur perméabilité varie de façon importante. Ces essais tendent à montrer que cette perméabilité ne diminue pas significativement vingt mois après la mise en œuvre en colonne de test.
- Les recyclés mixtes testés présentent des performances variables et montrent parfois des déformations permanentes importantes à l'essai triaxial cyclique de 100.000 cycles lorsqu'on s'éloigne des conditions de mise en œuvre optimales.





# Conclusions

- Les essais de 1.000.000 de cycles à Wopm montrent que pour le calcaire, les recyclés mixtes et les recyclés de béton présentent tous des déformations permanentes acceptables pour une sous-fondation
- L'un des échantillons de recyclés de béton testé au cours de cette étude présente d'excellentes performances à tous les critères, à l'exception du gel-dégel. Le critère gel-dégel était donc le seul frein à l'utilisation de ce matériau de qualité.
- Des essais complémentaires sont encore en cours de réalisation





Centre de recherches routières  
Votre partenaire pour des routes durables

**Merci de votre attention**

Le CRR est là **pour vous!**

[www.brirc.be](http://www.brirc.be)

## Assistances techniques



[assistance@brirc.be](mailto:assistance@brirc.be)

## Formations pratiques



[training@brirc.be](mailto:training@brirc.be)