

Développements expérimentaux en laboratoire pour évaluer le comportement mécanique des matériaux pour les couches de roulement

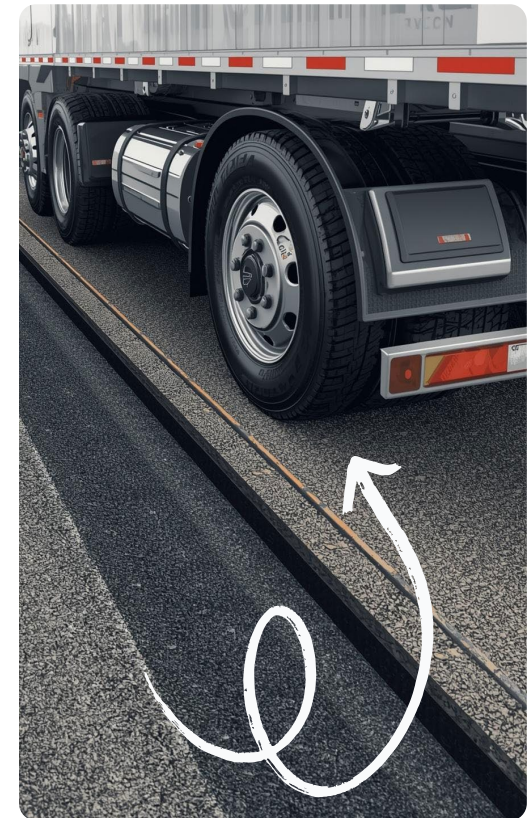
Ferhat HAMMOUM
Université Gustave Eiffel

ANR BINARY : Programme WP 3



Pour une **m**eilleure **p**rise en **c**ompte de l'**a**gressivité des **c**hargements **r**outiers sur les **c**ouches de **r**oulement des **c**haussées

- Contexte général
- Matériaux étudiés
- Expérimentation N°1 : Etude de l'interface en condition roulement libre
 - Effet de la température
 - Effet de la Vitesse de charge
 - Comparatif entre les matériaux
 - Réponse mécanique d'un bicouche: comportement de l'interface
- Expérimentation N°2 : condition roue bloquée
 - Influence de la composition sur l'arrachement
- Conclusions & perspectives



Matériaux étudiés

- une formule de Béton Bitumineux Mince de type a (BBMa) 0/10;
- une formule de Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) 0/10.

Composition (%)	6/10	2/6	0/2	filler	TL (%)	Nature du liant
BBMa 0/10	62,01	0,0	30,0	2,3	5,7	BmP Colflex N
BBSG 0/10	45,4	17,0	31,0	1,0	5,6	Pure 35/50

Les deux formules sont réalisées suivant les spécifications techniques de la norme EN 13108-1.

- ✓ **Aptitude au compactage - OK**
- ✓ **Comportement vis à vis de l'orniérage - OK**
- ✓ **Résistance vis-à-vis de la fissuration (à froid) – Bonne**
- ✓ **Sensibilité vis à vis de l'eau - OK**

Problématique scientifique



1. Dégradation progressive des performances mécaniques et fonctionnelles
2. Interaction complexe trafic – matériau avec son interface – environnement
3. Limites des essais normatifs isolés
4. Nécessité d'une approche mécanistique intégrée

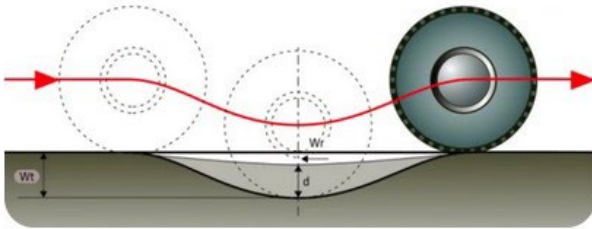
Problématique scientifique



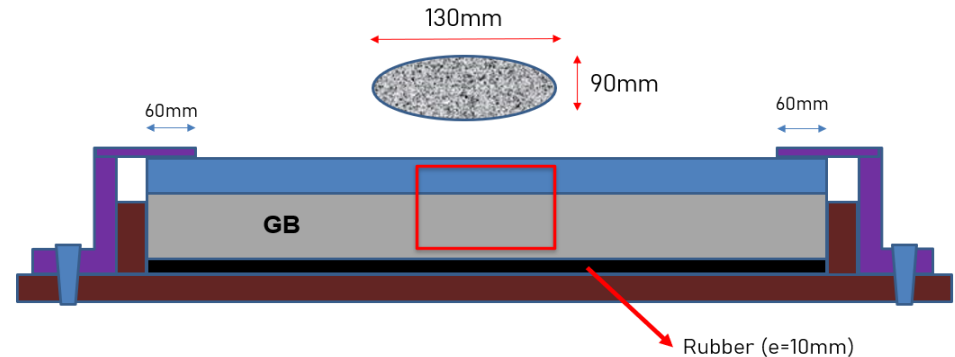
**Développement d'une expérimentation
pour étudier l'interface**

Comportement mécanique de l'interface

Chaussée en vraie grandeur



Représentation en laboratoire



Appareil : orniéreur mlpc + Caméra embarquée 5k*5k + éclairage LED

Charge appliquée sur la roue : 5000N

Pression de gonflage du pneumatique : 6 bars

Températures d'essai ($\pm 2^\circ\text{C}$) : ambiante (20°C), 40°C et 50°C

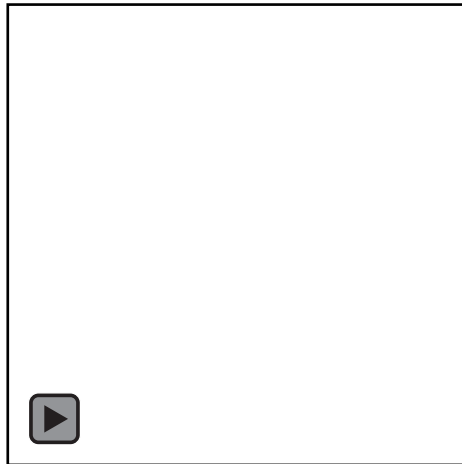
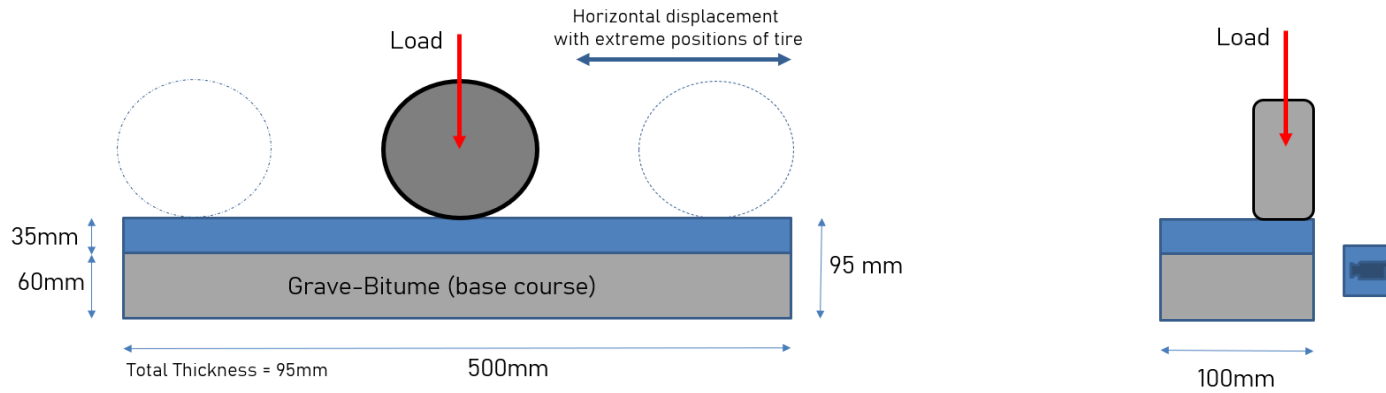
Temps de conditionnement de l'éprouvette avant essai : 5 heures

Vitesse de passage : 7 km/h (1Hz), 3,5 km/h (0,5 Hz) et 0,7 km/h (0,1Hz)

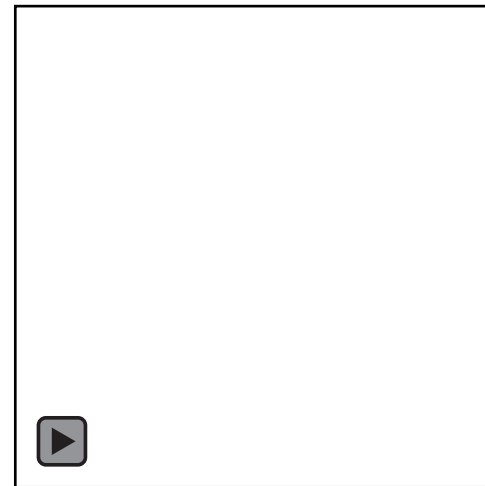
Campagne d'essai pour étudier l'interface

Echantillon bi-couche	Désignation
BBSG-GB-WTC	BBSG collée sur un support GB
BBSG-GB-WOTC	BBSG non-collée sur un support GB
BBMa-GB-WTC	BBMa collée sur un support GB
BBMa-GB-WOTC	BBMa non-collée sur un support GB

Comportement mécanique de l'interface

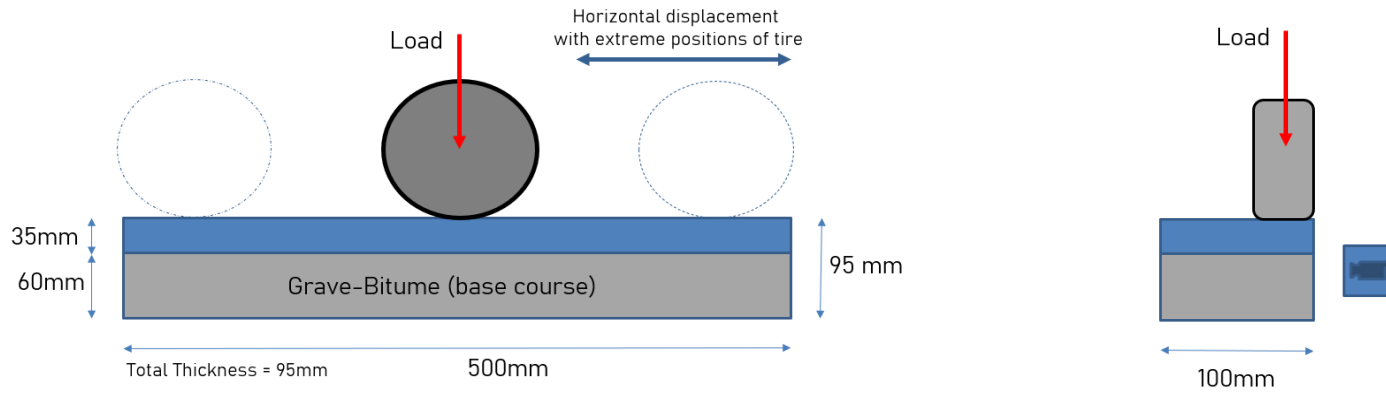


Déplacement vertical



Composante Exy

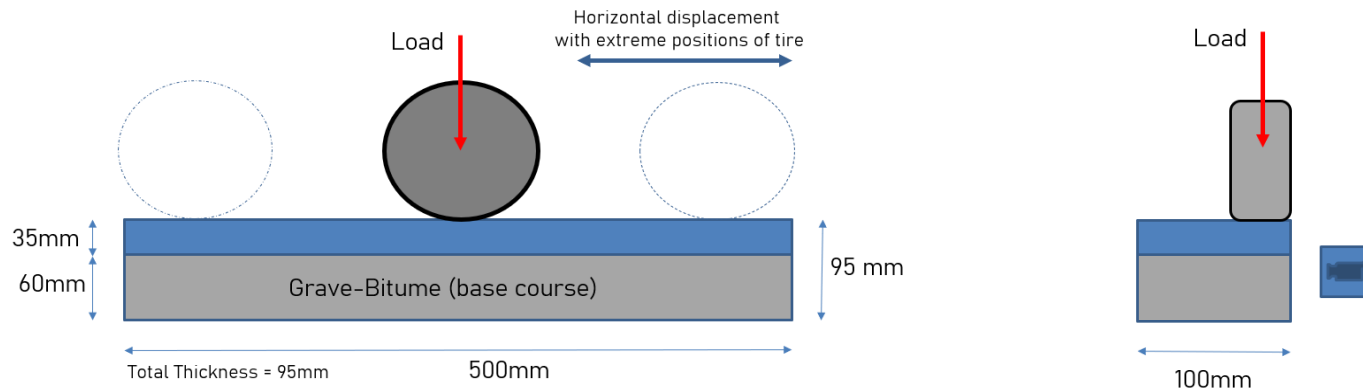
Comportement mécanique de l'interface

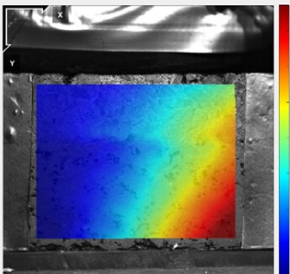
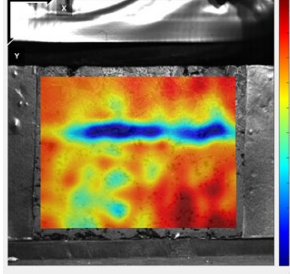
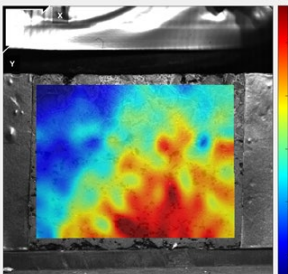
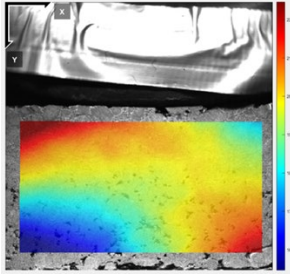
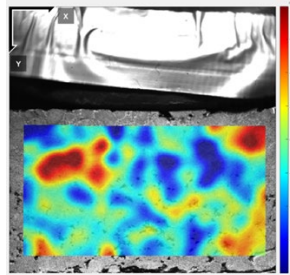
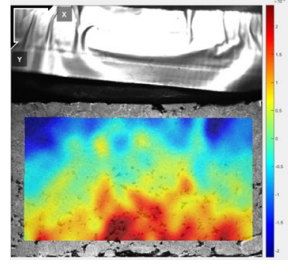


Composante	Déplacement H	Exy	Exx
WOTC (Interface non collée)			
WTC (Interface collée)			

Résultats des mesures réalisées sur un bicouche BBMa-GB à 20°C et 3,5 km/h

Comportement mécanique de l'interface



Composante	Déplacement H	Exy	Exx
WOTC (Interface non collée)			
WTC (Interface collée)			

Résultats des mesures réalisées sur un bicouche BBMa-GB à 40°C et 3,5 km/h

Problématique scientifique

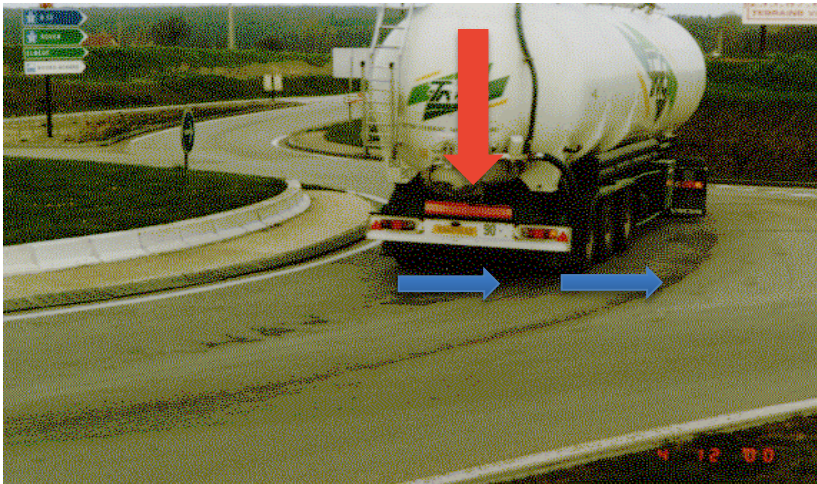


Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Résistance des enrobés bitumineux de surface vis à vis des efforts tangentiels

Contact pneumatique-chaussée => glissement du pneumatique avec la charge appliquée !

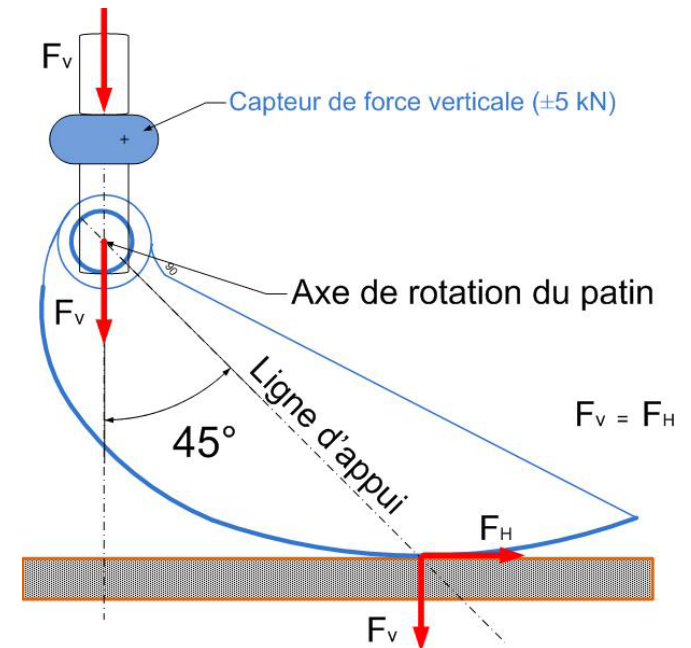


Tribomètre T2R (principe)

Stefani C., 2000

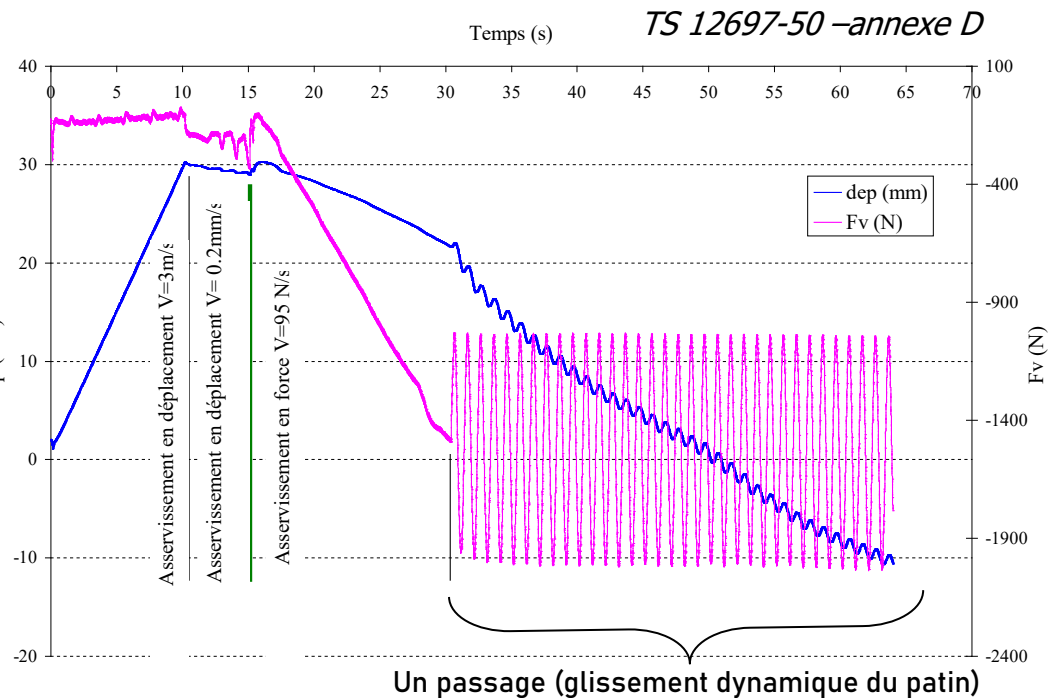
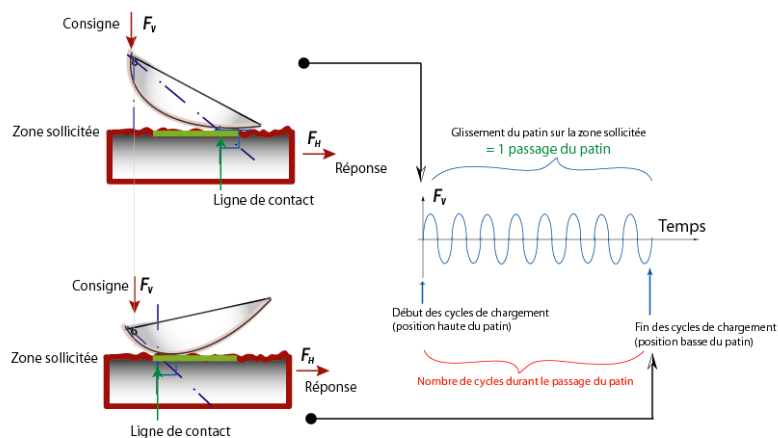
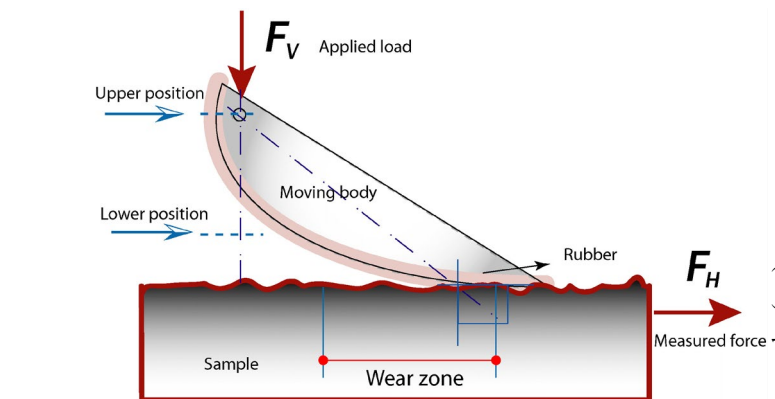
PhD report, S. Hamlat, 2007

TS 12697-50 annex D



Contact roue bloquée: Résistance aux efforts tangentiels

• Tribomètre T2R



Description

Gomme du patin avec sculpture (65° Shore)

Force moyenne 2600 N / amplitude 800 N

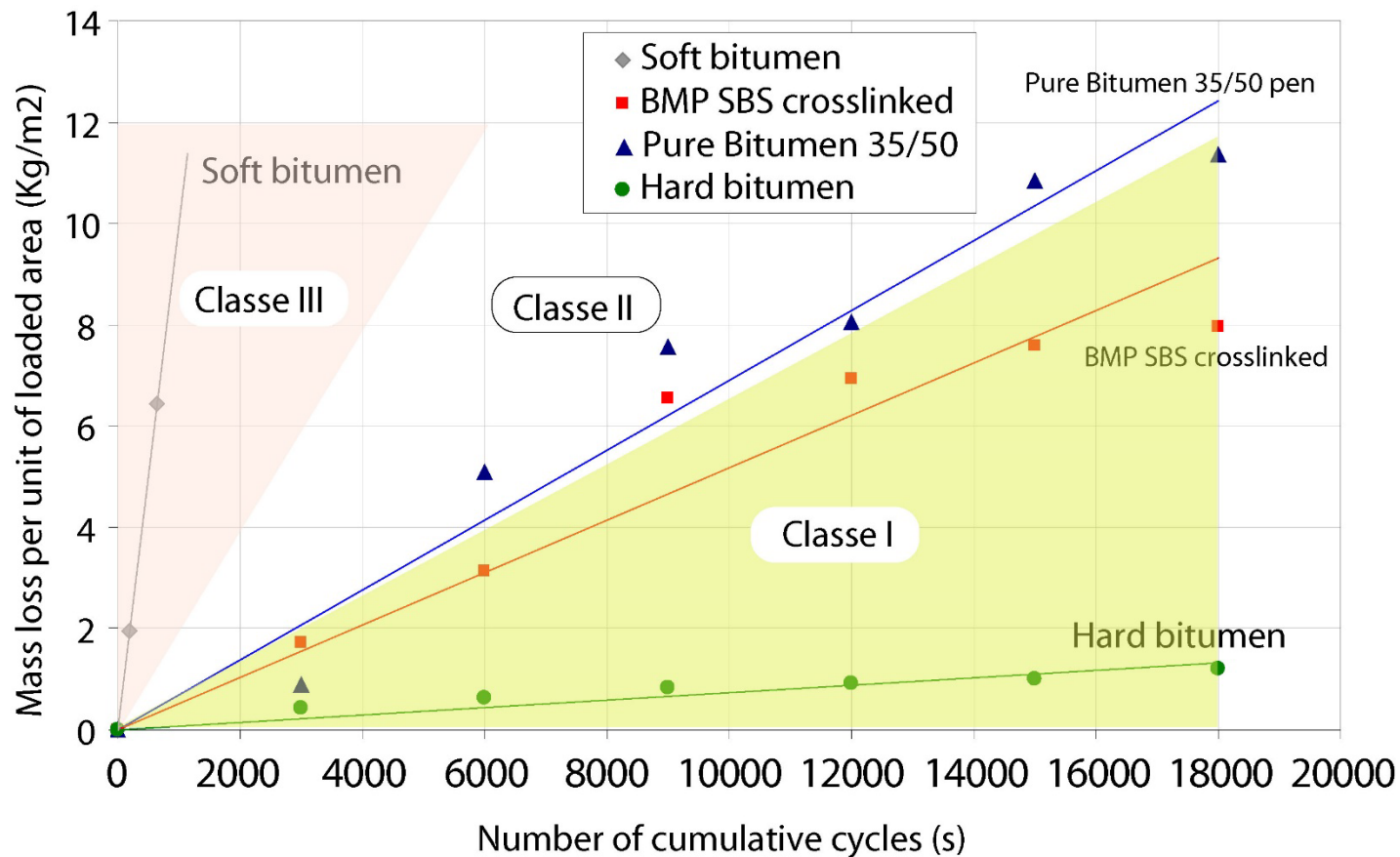
Température = ambient (20°C)

Dimensions de l'échantillon: 170 x 170 x 60 mm

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Base de donnée : plus de 50 formules d'enrobé

TS 12697-50 –annexe D



Classification des principaux liants suivant la resistance aux arrachements

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels



BBSG 0/10
Bitume pur 35/50

BBMa 0/10
Colflex N (SBS)



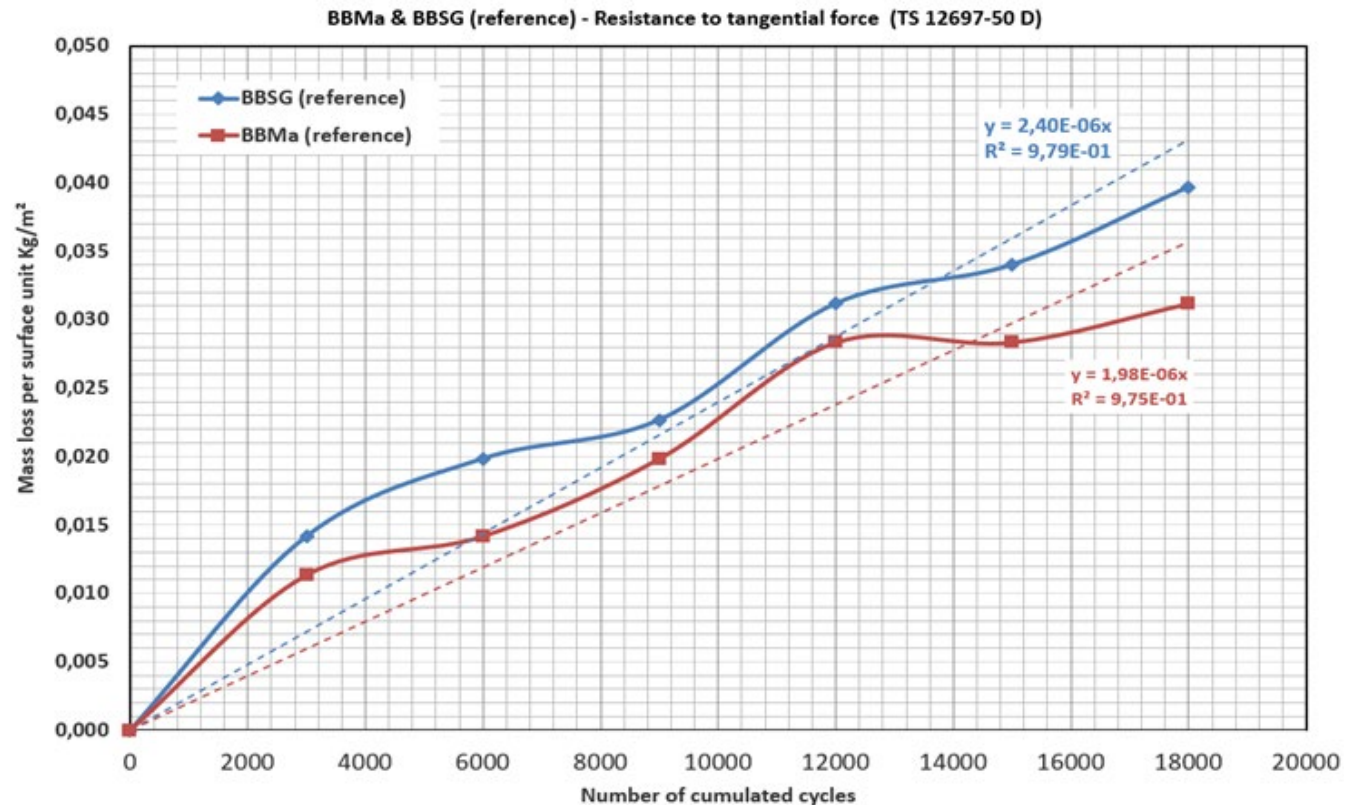
Formule	Désignation
BBSG-Ref	Béton Bitumineux Semi-grenu avec 5,6% de liant pur 35/50 Composition indiquée dans le paragraphe 3
BBSG-TL-1	Béton Bitumineux Semi-grenu avec 4,6% de liant pur 35/50 Les autres proportions restent inchangées
BBSG-0Sable	Béton Bitumineux Semi-grenu sans la fraction sableuse (-31%) Les autres proportions restent inchangées
BBMa-Ref	Béton Bitumineux Mince type a avec 5,7 % de liant Colflex N Composition indiquée dans le paragraphe 3
BBMa-TL-1	Béton Bitumineux mince type a avec 4,7% de liant Colflex N Les autres proportions restent inchangées
BBMa-0Sable	Béton Bitumineux mince type a sans la fraction sableuse (-30%) Les autres proportions restent inchangées

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

- BBMa - Béton Bitumineux Mince type a / bitume Colflex N => [Reference](#)
- BBSG - Béton Bitumineux Semi-grenu / bitume pur => [Reference](#)

**Perte de masse
après 18000 cycles**

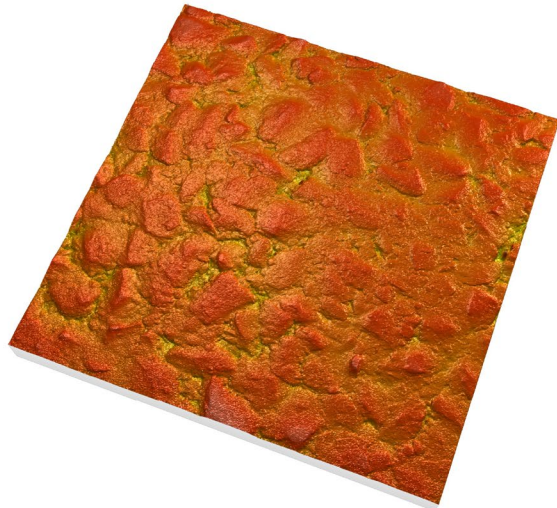
[0.7 g pour BBSG]
[0.6 g pour BBMa]



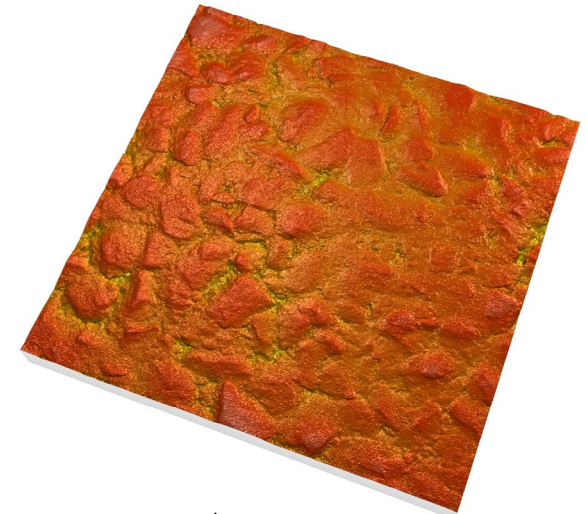
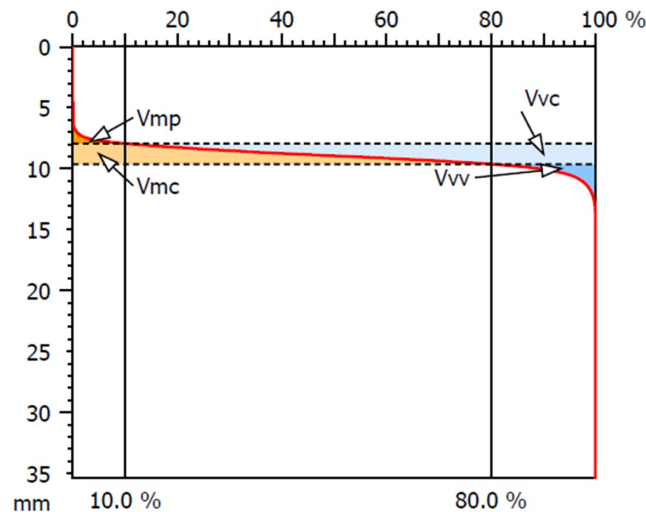
BBSG avec bitume 35/50 et BBMa avec Colflex N (excellente résistance)

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Analyse de la surface 3D)



BBMa2 Etat initial



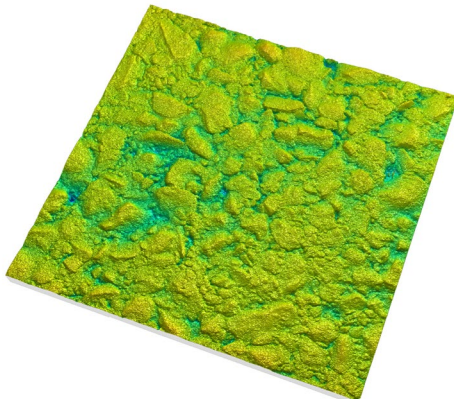
BBMa2 après 18000 cycles

Paramètres	Valeur	Unité	
Vmp	0.0352	mm ³ /mm ²	
Vmc	0.7321	mm ³ /mm ²	
Vvc	0.9632	mm ³ /mm ²	
Vvv	0.1321	mm ³ /mm ²	

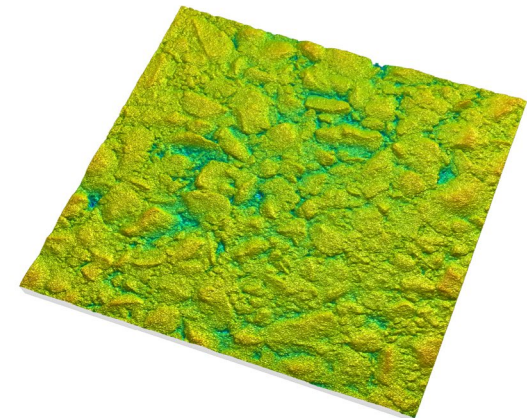
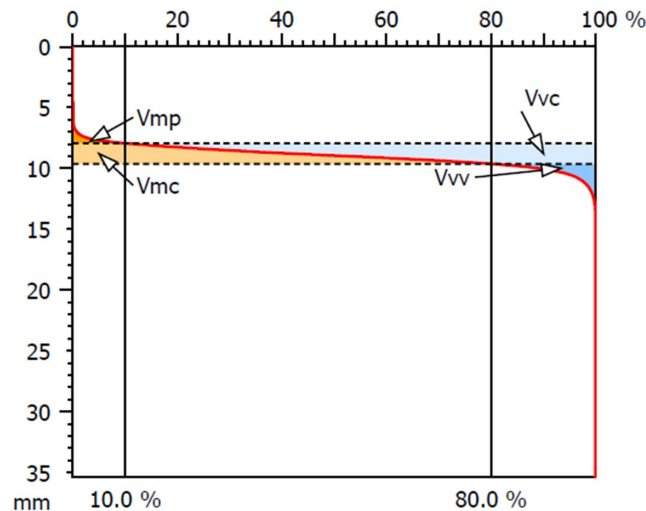
Paramètres	Valeur	Unité	
Vmp	0.03823	mm ³ /mm ²	+8.6%
Vmc	0.7049	mm ³ /mm ²	-3.7%
Vvc	0.9677	mm ³ /mm ²	+0.5%
Vvv	0.1191	mm ³ /mm ²	-9.8%

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Analyse de la surface 3D)



BBSG Etat initial



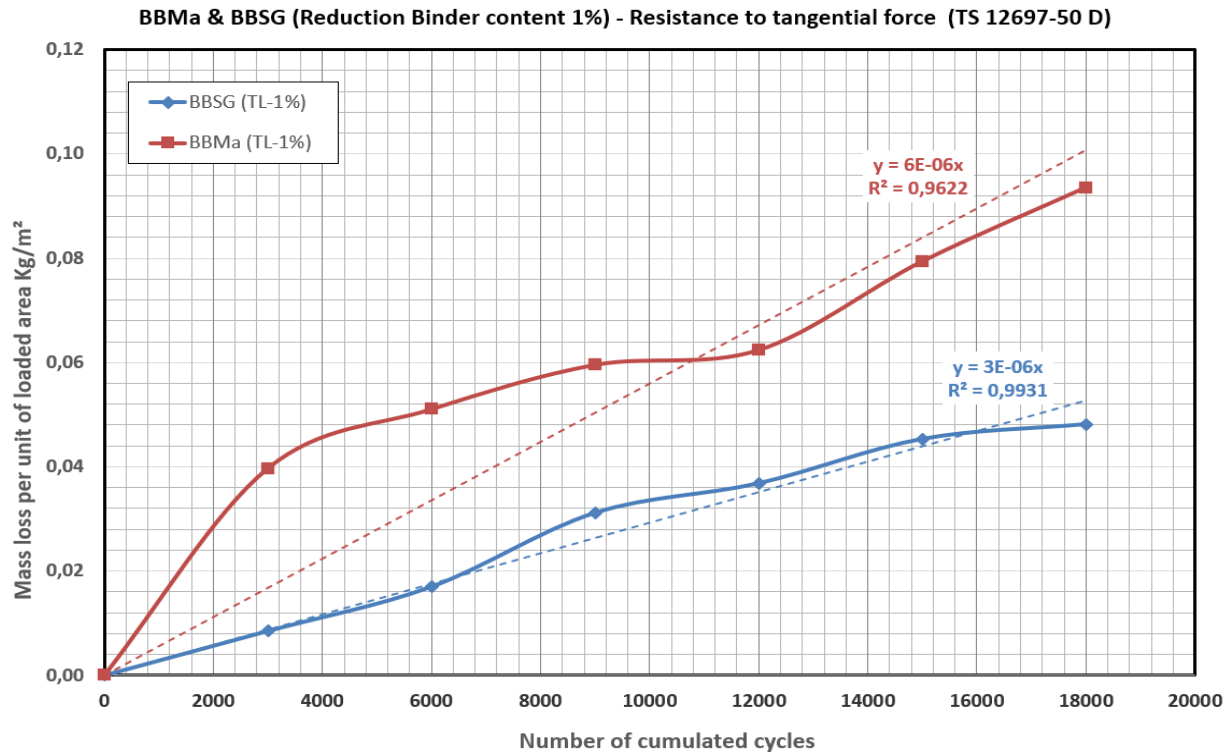
BBSG après 18000 cycles

Paramètres	Valeur	Unité
Vmp	0.02563	mm ³ /mm ²
Vmc	0.5308	mm ³ /mm ²
Vvc	0.6975	mm ³ /mm ²
Vvv	0.09046	mm ³ /mm ²

Paramètres	Valeur	Unité	
Vmp	0.02725	mm ³ /mm ²	+6.3%
Vmc	0.5284	mm ³ /mm ²	-0.5%
Vvc	0.7157	mm ³ /mm ²	+2.6%
Vvv	0.08376	mm ³ /mm ²	-7.4%

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

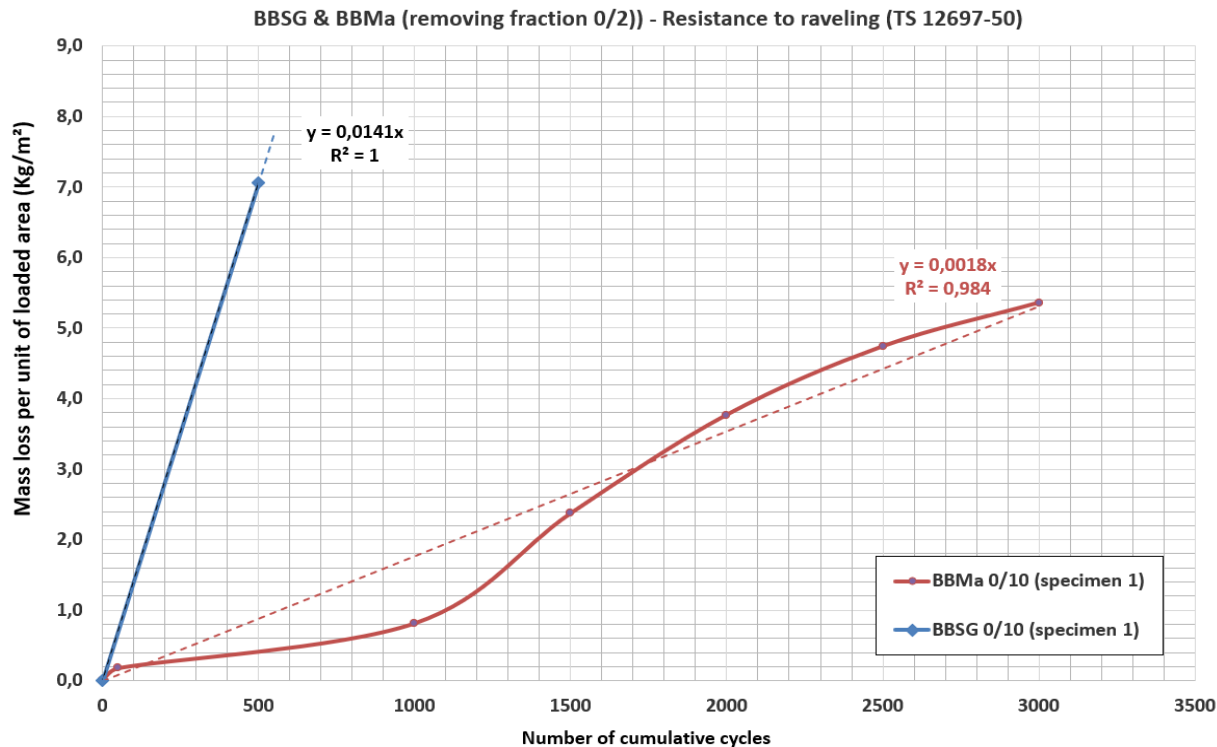
Formule	Perte de masse (g)	Variation relative par rapport à la formule de référence	Pente de la droite de tendance	Variation par rapport à la formule de référence
BBSG-TL-1	0,8	+14%	$3 \cdot 10^{-6}$	X 1,25
BBMa-TL-1	1,7	+183%	$6 \cdot 10^{-6}$	X 3



BBMa avec Colflex N (plus grande sensibilité avec la TL que le BBSG)

Contact roue bloqué : Résistance aux efforts tangentiels

Formule	Perte de masse (g)	Pente de la droite de tendance	Variation par rapport à la formule de référence
BBSG-0Sable	124 g après 500 cycles	0,014	X5800
BBMa-0Sable	95 g après 3000 cycles	0,0018	X900



BBSG avec bitume pur 35/50 (plus grande sensibilité avec la fraction sableuse)

Merci de votre attention

Ferhat HAMMOUM

Département MAST

Université Gustave Eiffel

Allée des ponts et chaussées

Email: ferhat.hammoum@univ-eiffel.fr

Contexte général



Climat



temperatures



sunshine



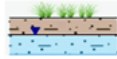
wind speed



precipitation

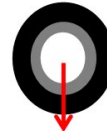


relative
humidity



Water table

Traffic



Couches de surface

Couche de roulement
Couche de liaison

Couches d'assise

Couche de base

Couche de fondation

Couche de forme

Sol support

Réseau routier français (1.1 million km)
32.2 Million de tonnes d'enrobé bitumineux / an
1.3 Million of tonnes de bitume / an
Budget maintenance (RRN) = 900 M€

Travaux d'entretien et de maintenance => coûts liés aux
fermetures, congestion et impact sur l'économie locale,
perturbations du trafic et consommation des ressources



Cracking at low temperature
Canada, 2015

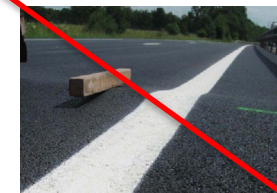
Rutting Phenomena
Brazilia, 2015



Mechanical fatigue with
longitudinal cracks



Potholes after 3 years
France 2010



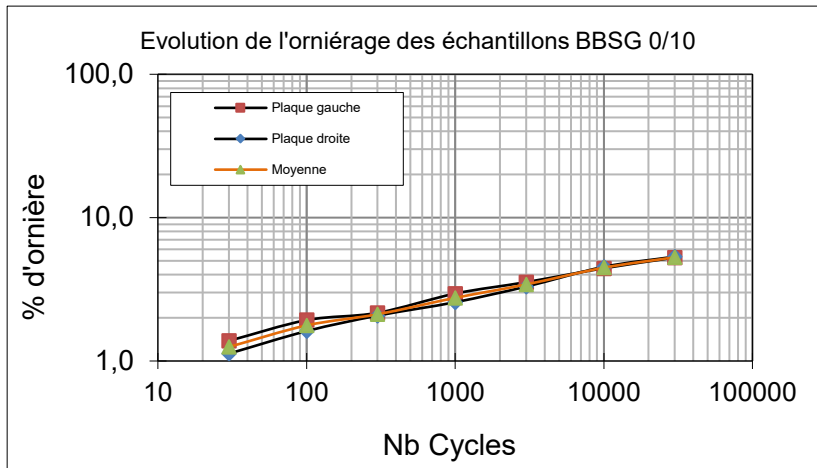
Credits photo: Cerema



Credits photo: BRGM

Comportement vis-à-vis de l'orniérage

BBSG 0/10



BBMa 0/10

