



Schweizer Tag
Journée suisse

2021

VSS



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise

Erhaltungsmanagement | Gestion de l'entretien



Potentiel et enjeux des grilles de renforcement



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

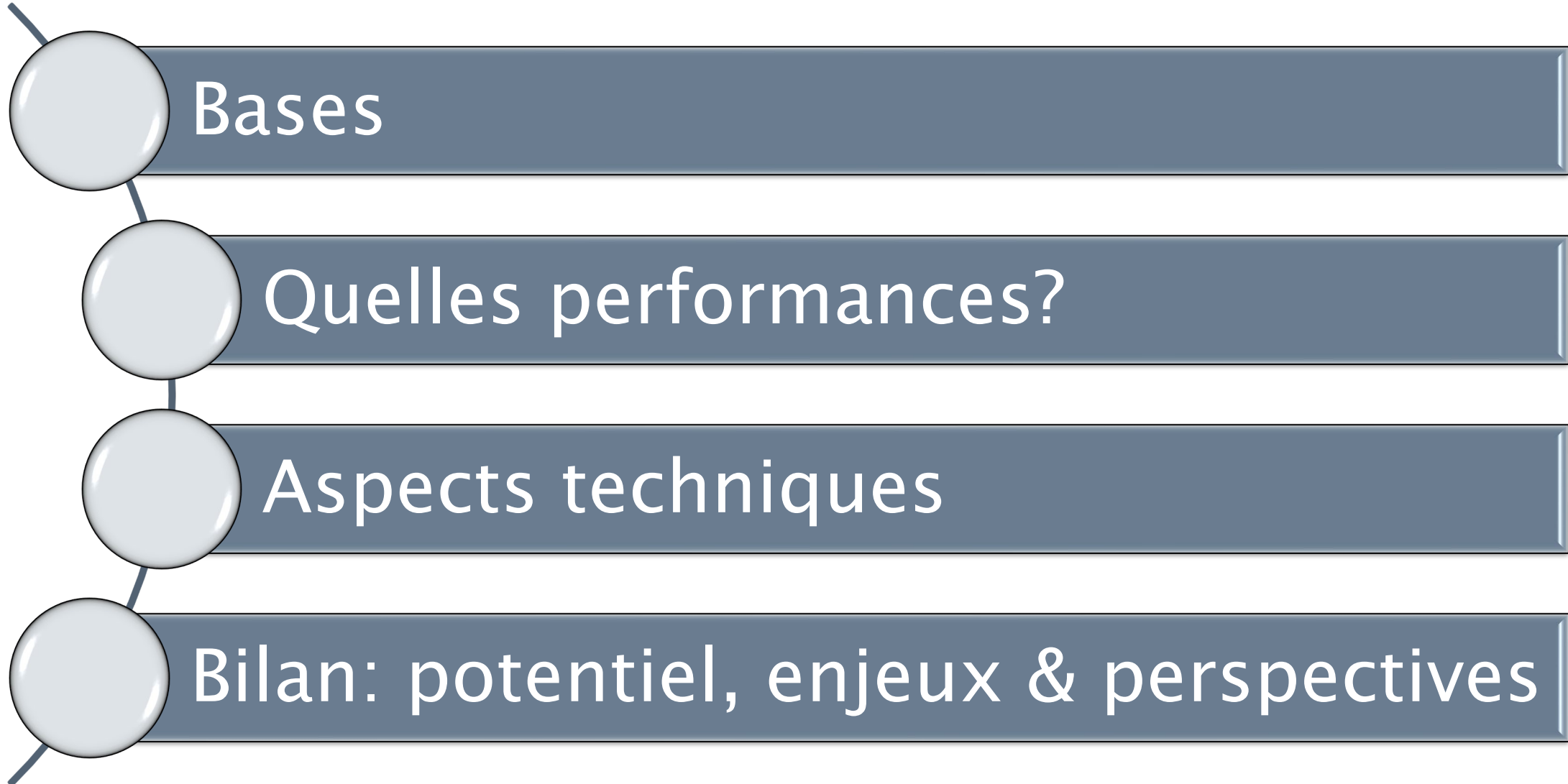
Journée Suisse – Gestion de l'entretien | Bienne | 21.10.2021

Prof. Dr. N. Bueche, resp. domaine de compétences en infrastructures de transport

Institut du développement urbain et de l'infrastructure (ISI)

Haute école spécialisée bernoise | Berner Fachhochschule

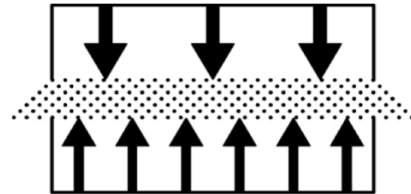
Table des matières



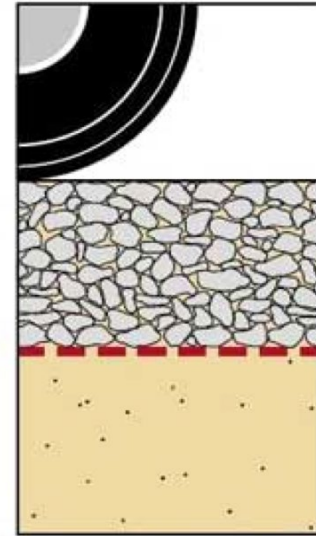
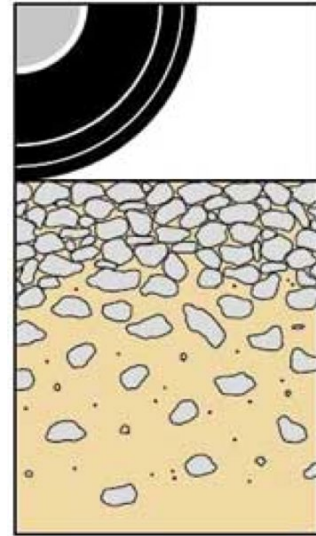
Notions de base

Bases

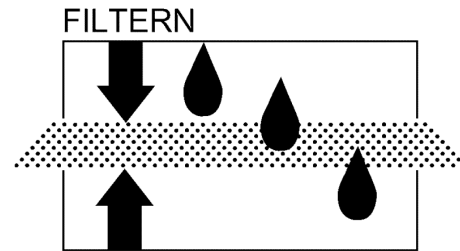
- ▶ Géotextiles
 - ▶ Fonction séparation



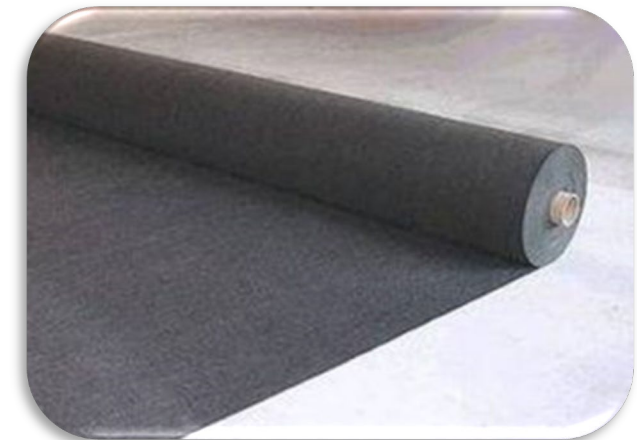
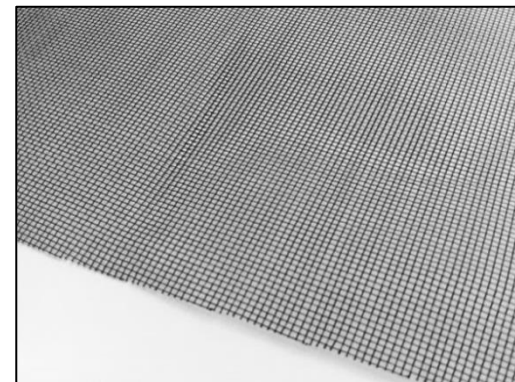
Source: Schoellkopf / S. Althoff



- ▶ Fonction filtrante



Source: Schoellkopf / S. Althoff



Source: <http://jardinjasmin.com/catalogue>

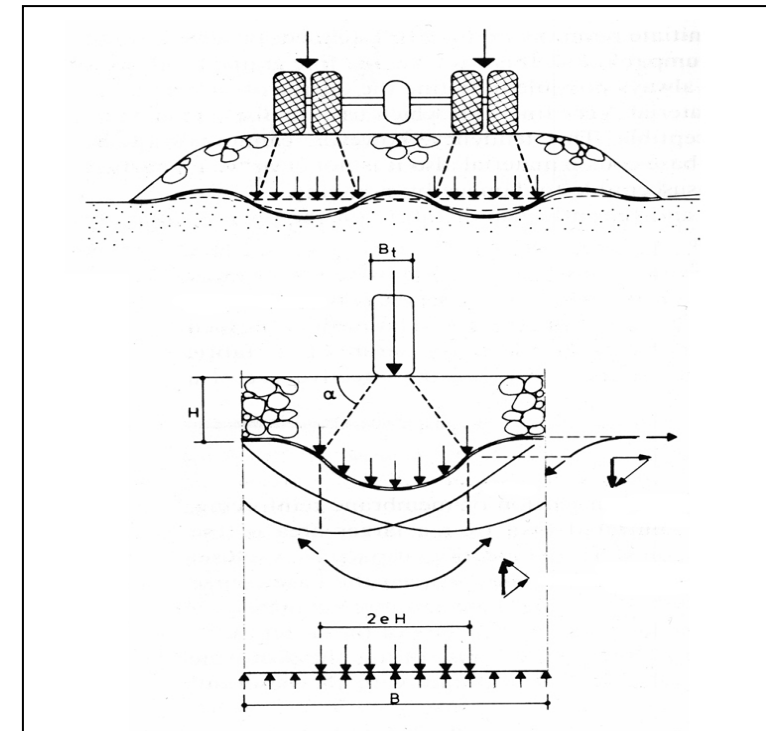
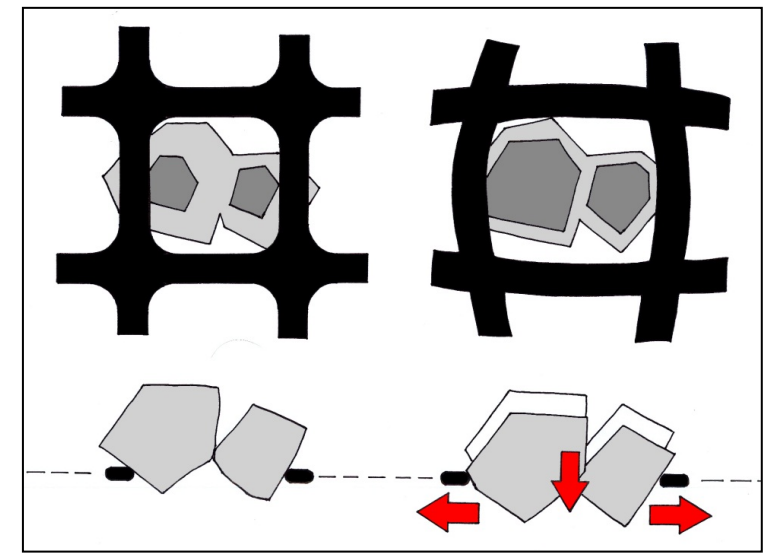
Non considérés ici!

Bases

- ▶ Grilles de renforcement (géogrilles)
 - ▶ Fonction renforcement essentiellement (parfois étanche)
 - ▶ Postulats
 - ▶ Grilles positionnées au sein de / au bas des couches liées (bitumineuses)
 - ▶ Technique pour le renforcement/entretien des chaussées
 - ▶ Les treillis métalliques ne sont pas considérés dans cette présentation



Source: <https://www.sp-reinforcement.eu/en-EU>



Source: Schoellkopf / S. Althoff

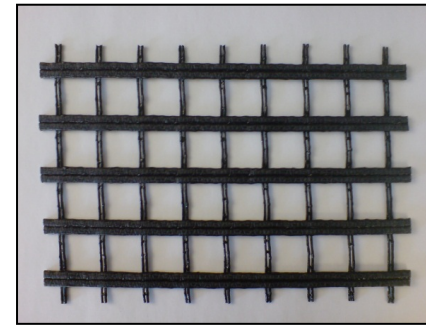
Grilles de renforcement

► Différents types de matériaux

- Polypropylène (PP)
- Polyester (PET)
- Polyvinyle d'alcool (PVA)
- Verre - Glas (G)
- Carbone (C)
- Acier - Stahl (S)
- ...

► Caractéristiques déterminantes

- Forme - structure
- Rigidité (Module-E)
- Déformation à la rupture
- Résistance à la traction
- Point de fusion
- Adhésion au support/enrobé
- ...



Source: Schoellkopf / S. Althoff



Source: SamiGrid - PVA

Material	E-Modul (N/mm ²)		Bruchdehnung (%)		
AC	100-10 000		-		
GGR/PP	8000		10-12		
GGR/PET	10 000		12-15		
GGR/G	47 000		3.0		
GGR/C	160 000		1.6		
GGR/S	210 000		0.1		
GGR	Gitter	PP	Polypropylen	G	Glasfaser
		PET	Polyester	S	Stahl
		C	Carbonfaser	AC	Asphalt

VSS 2007/702. Lindenmann et al.

Fonctions attendues

- ▶ Sur le principe, il est notamment attendu
 - ▶ Répartition / retardement de l'apparition des **fissures**
 - ▶ Meilleure répartition des contraintes
 - ▶ «Pontage» des fissures (...)
 - ▶ **Homogénéisation de la portance**



Source: VSS 2007/702. Lindenmann et al

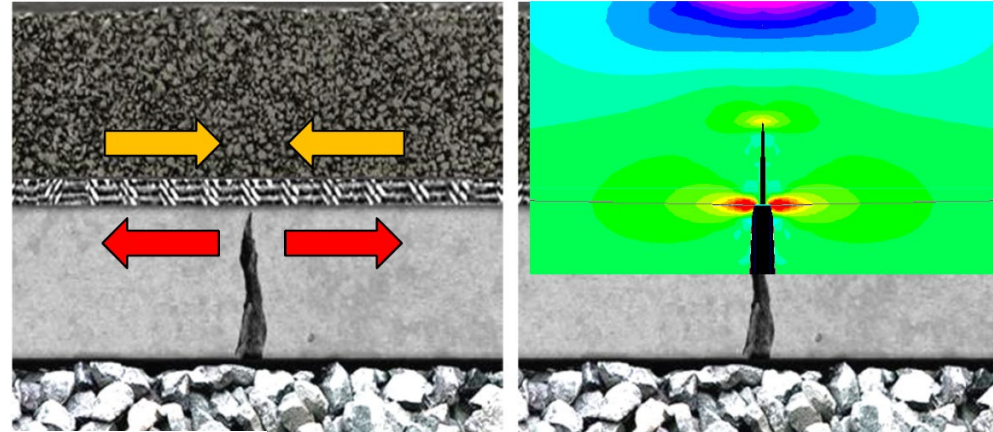
Verformungen (Fokus: Steifigkeit)		Risse (Fokus: Festigkeiten)		Oberbautyp	
Setzungen	Spurrinnen	Thermisch	Reflexion		
+	+	+	+	Neu	Asphalt
-	-	-	+	Alt	
+ gute Wirkung - keine Wirkung					

Source: VSS 2007/702. Lindenmann et al

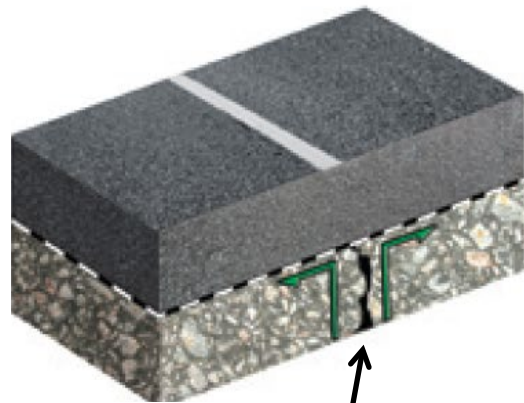
Fonctions attendues

- ▶ Lutte contre la fissuration: reprise et répartition des contraintes

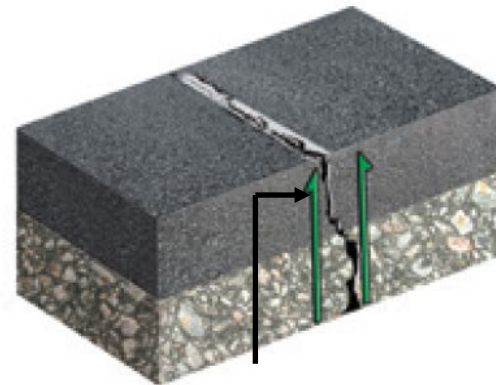
- ▶ Meilleure répartition des contraintes
→ Influence sur la fatigue?



Source: Helsing, Forumstrasse 2016



With Geosynthetic



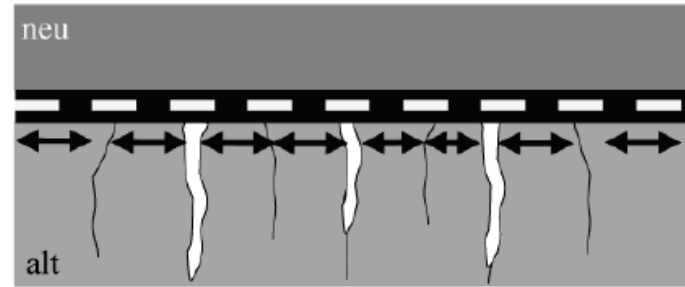
Without Geosynthetic

Source: <http://www.silnice-zeleznice.cz>

Fonctions attendues

► “Pontage” des fissures

Passive Rolle



Absorbierung und Verteilung der Spannungen in der Asphalteinlage durch Bewegung

σ^+ = Zugspannung

σ^- = Druckspannung

P = Radast

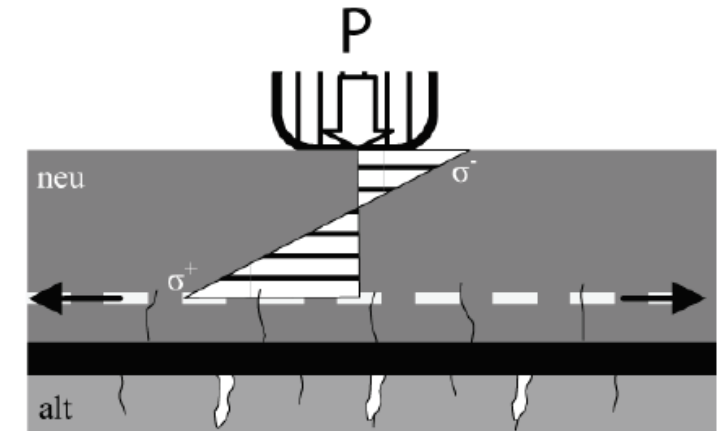
— Bituminöse Zwischenschicht

— — Asphalteinlage

↔ Bewegung

⌋ Zerstörte Schicht mit Rissen

Aktive Rolle



Aktivierung der Zugkraft in der Asphalteinlage durch Dehnung

Source: VSS 2007/702. Lindenmann et al.

Domaine d'application

- Domaines d'application recommandés en construction routière (projet COST 348)

Vermeidung	GTX-N	GGR/PP GGR/PET	GGR/S	GCO PP/GTX-N GCO PET/GTX-N
Spurrinnen		X	X	X
Risse durch Frosthebung		X	X	
Reflexionsrisse	X	X	X	X
Ermüdungsrisse	X	X	X	X
Tragfähigkeitsverluste	X	X	X	X
GTX-N	Vlies	PP	Polypropylen	
GGR	Gitter	PET	Polyethylen	
GCO	Verbundstoff	S	Stahl	

Source: VSS 2007/702. Lindenmann et al. / COST 348

Quelles performances?

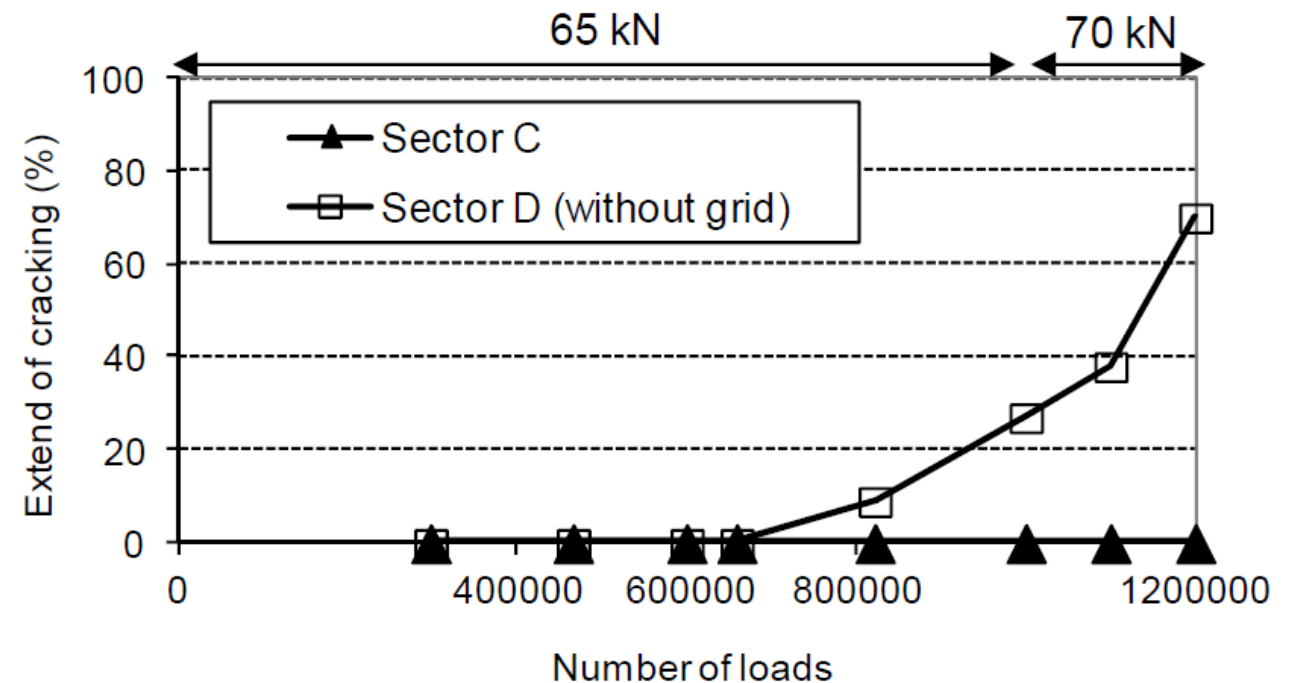
- Quelques expériences en vraie grandeur
 - International: France, Pays-Bas
 - Suisse: Genève, recherche appliquée (BFH)

France: Accelerated Pavement Testings (APT)

- ▶ Grilles de renforcement: verre
- ▶ Essai 1: Entretien de chaussée existante (70 mm nouveau revêtement)

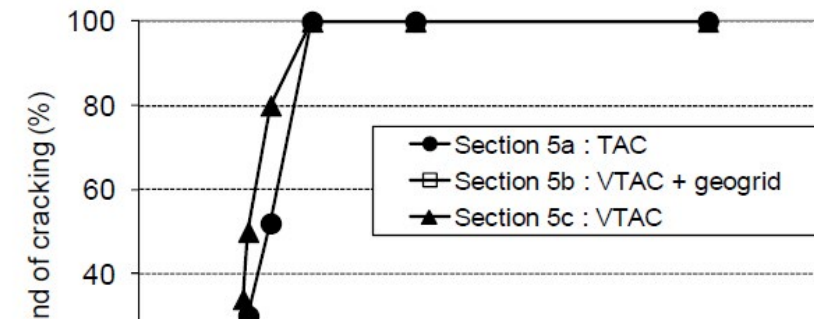
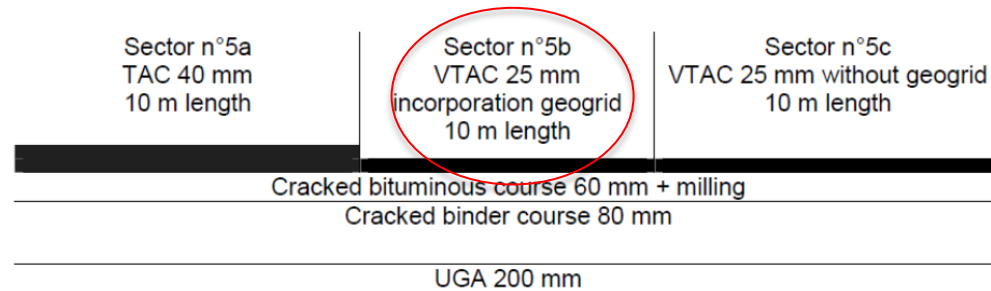


Source: Nguyen et al. RMPD, 2013



France: Accelerated Pavement Testings (APT)

► Essai 2: Amélioration du comportement à la fatigue (nouvelle chaussée)



□ Conclusions APT

- Lorsque posées de manière optimale, les grilles en fibre de verre installées au bas des couches bitumineuses permettent d'améliorer le comportement en fatigue de la chaussée.
- Les grilles en fibre de verre installées sous un enrobé très mince (VTAC) amènent également des résultats positifs.

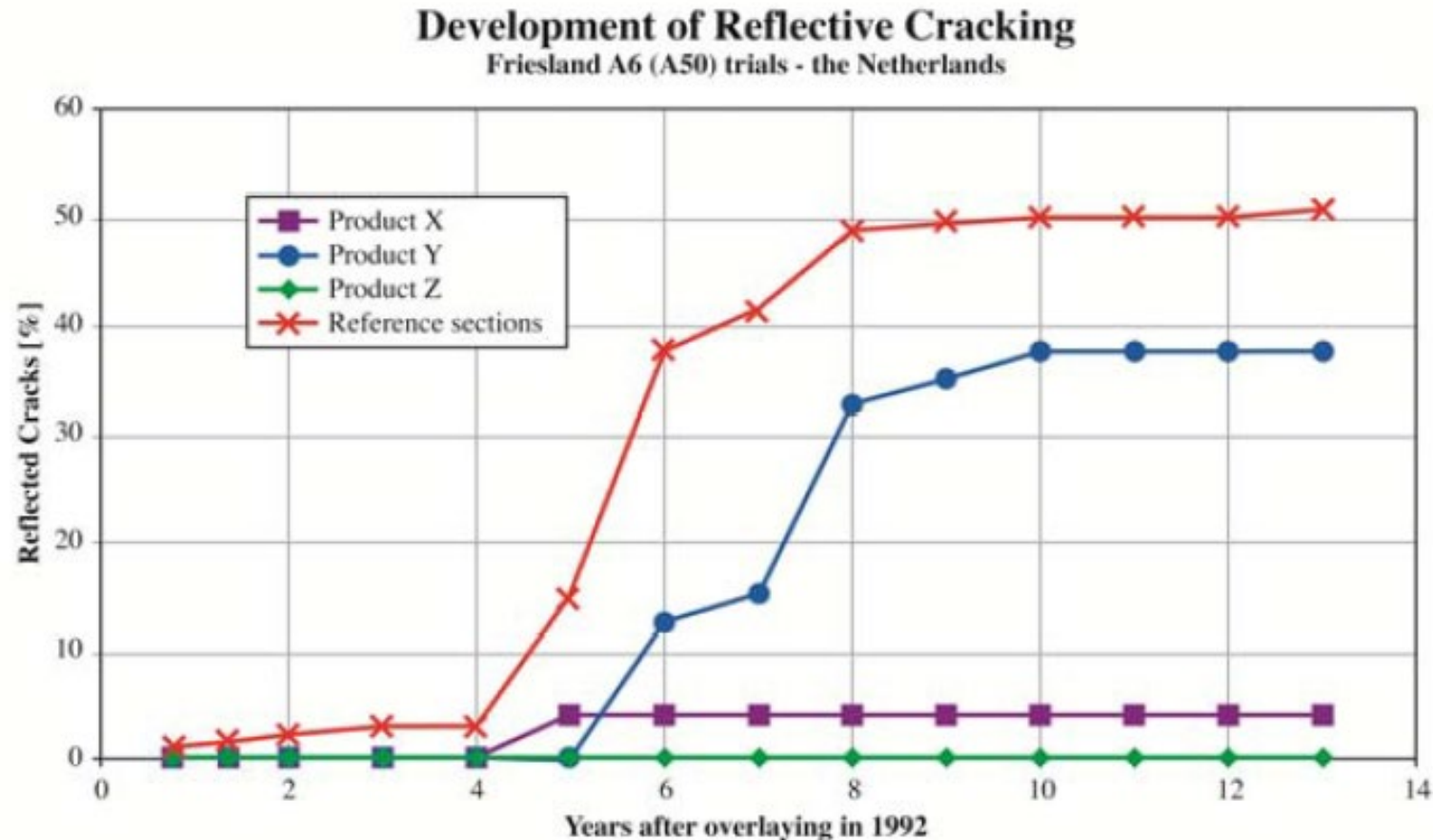


Source: Nguyen et al. RMPD, 2013



Pays-Bas: suivi de sections in situ

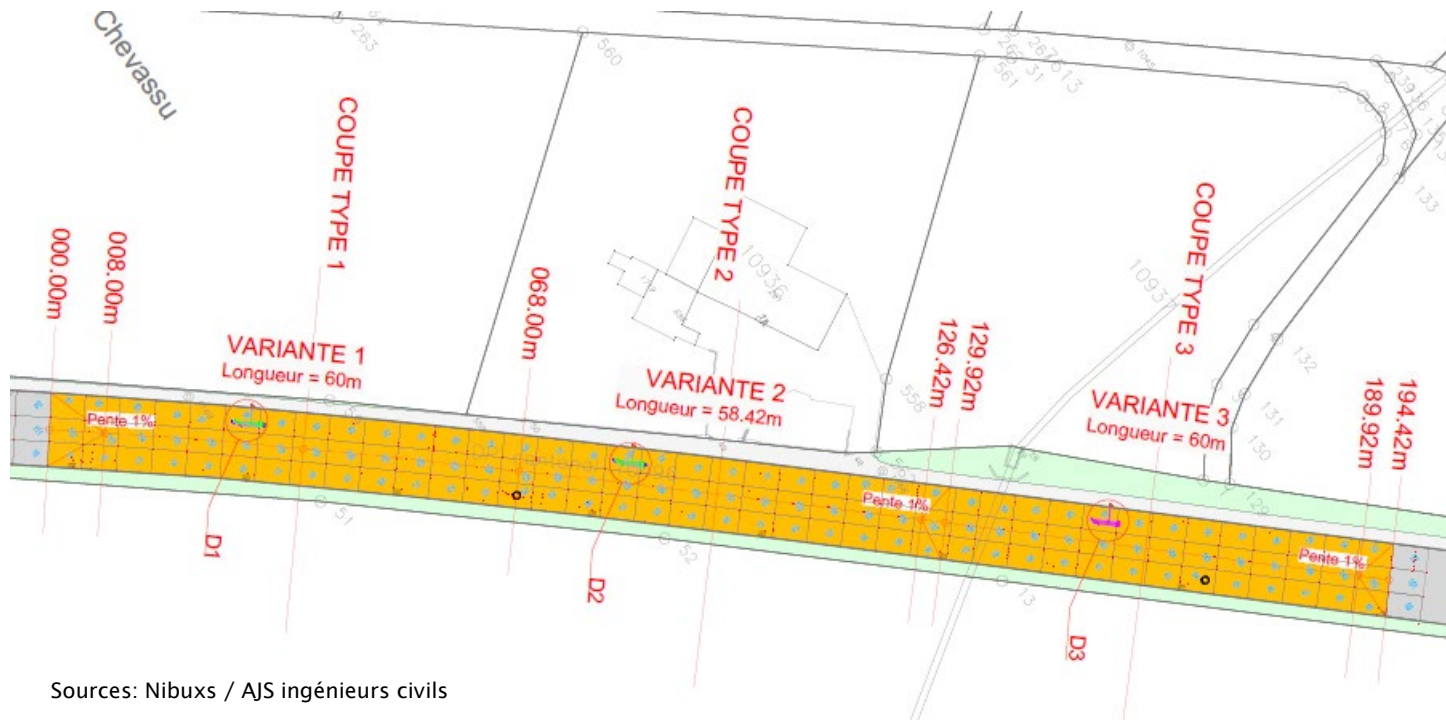
- ▶ Etude de l'influence de grilles de renforcement sur la propagation des fissures (in situ, chaussées semi-rigides)



Source: De Bondt (Ooms), Rilem, 2012

Exemple: Genève (canton)

- But du projet: assainissement au bruit de chaussées avec dalles en béton

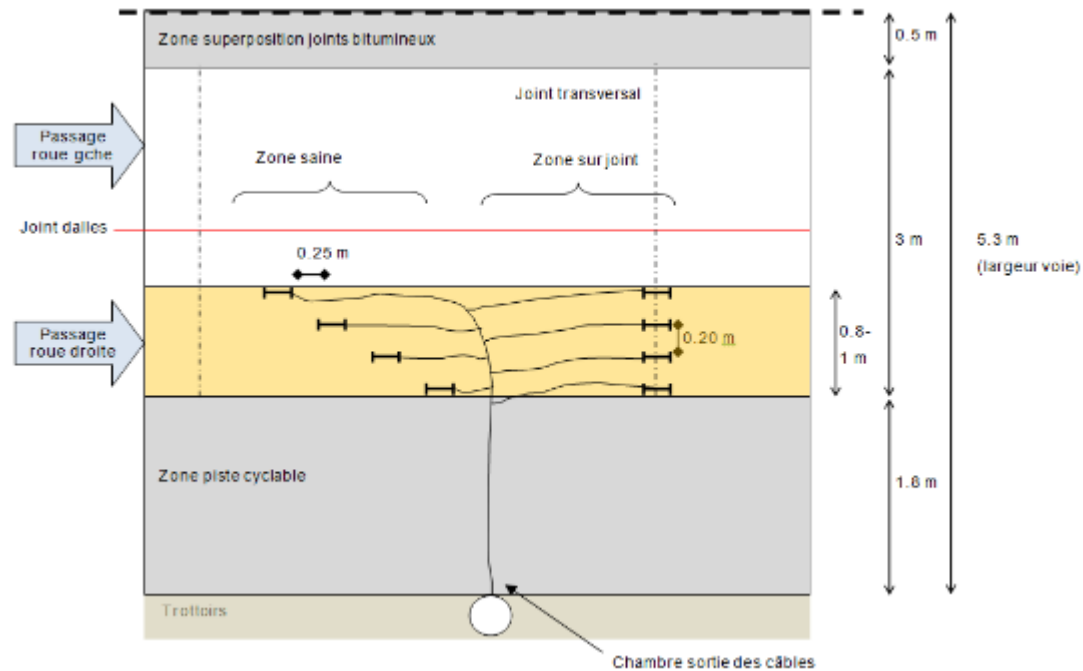


Sources: Nibuxs / AJS ingénieurs civils

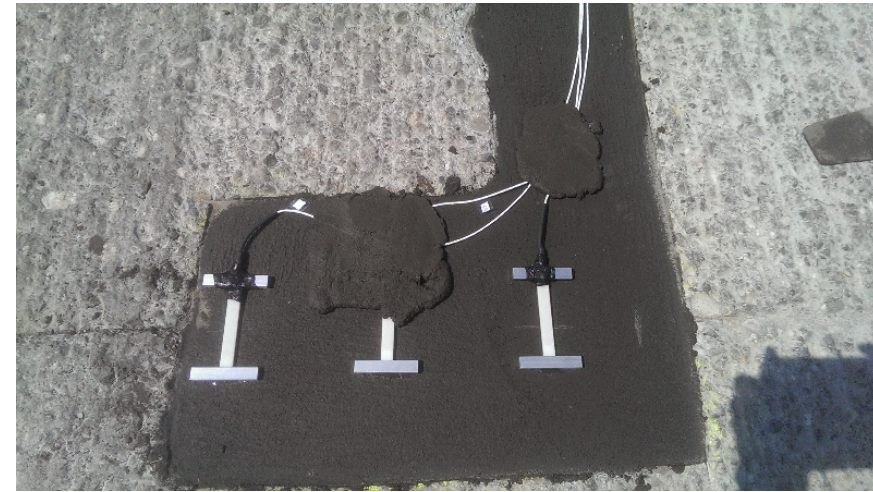
		Dicke [mm]	
Variante 1	Dalle N° 86	SDA 4	35
		Asphaltbewehrung (Carbon)	-
		AC B 16 S	50
		SAMI 2.0 kg/m ²	10
		Beton	
Variante 2	Dalle N° 75	SDA 4	35
		Asphaltbewehrung (Carbon)	-
		AC B 11 S	40
		SAMI 2.0 kg/m ²	10
		Beton	
Variante 3	Dalle N° 61	SDA 4	35
		SAMI 2.0 kg/m ²	10
		Asphaltbewehrung (Carbon)	-
		Beton	

Exemple: Genève (canton)

► Méthode de suivi – Analyse du comportement mécanique

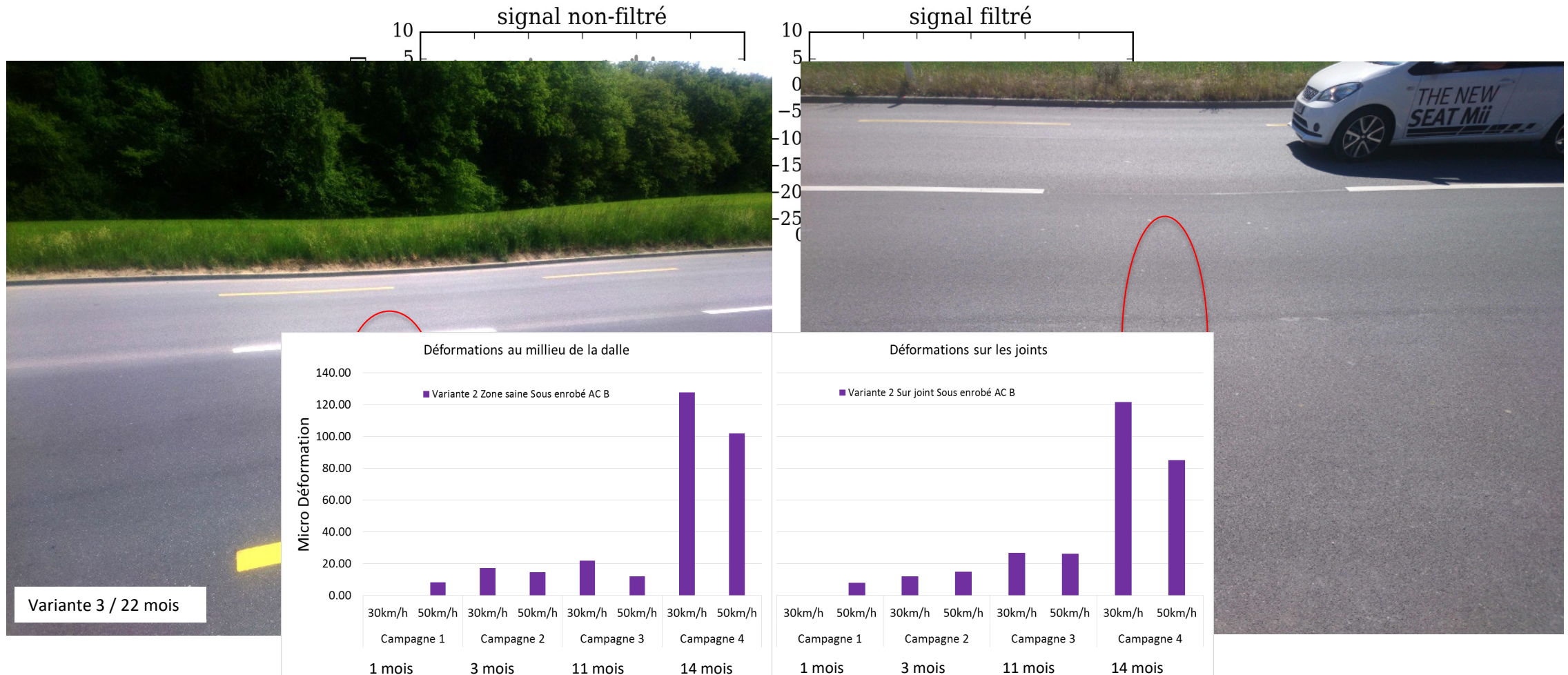


Source: Nibuxs



Exemple: Genève (canton)

► Quelques enseignements



Source: Nibuxs

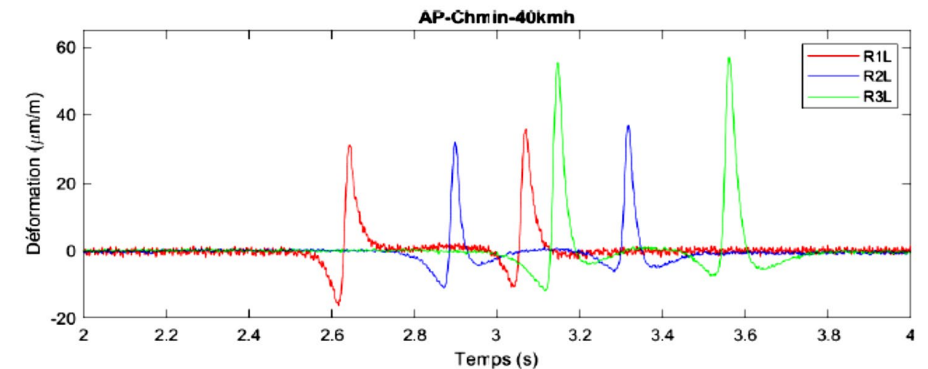
Impact des grilles de renforcement

- ▶ Projet 30416.1 IP-ENG “Development of asphalt pavement structures reinforced with embedded composite grids”
- ▶ Objectif: développement et implémentation d'une solution de renforcement des chaussées avec utilisation de grilles de renforcement permettant de substantiellement augmenter la durée de vie des chaussées



Impact des grilles de renforcement

► Sections d'essais: La Ferrière (BE)



Impact des grilles de renforcement

► Sections d'essais: Neuchâtel (canton)



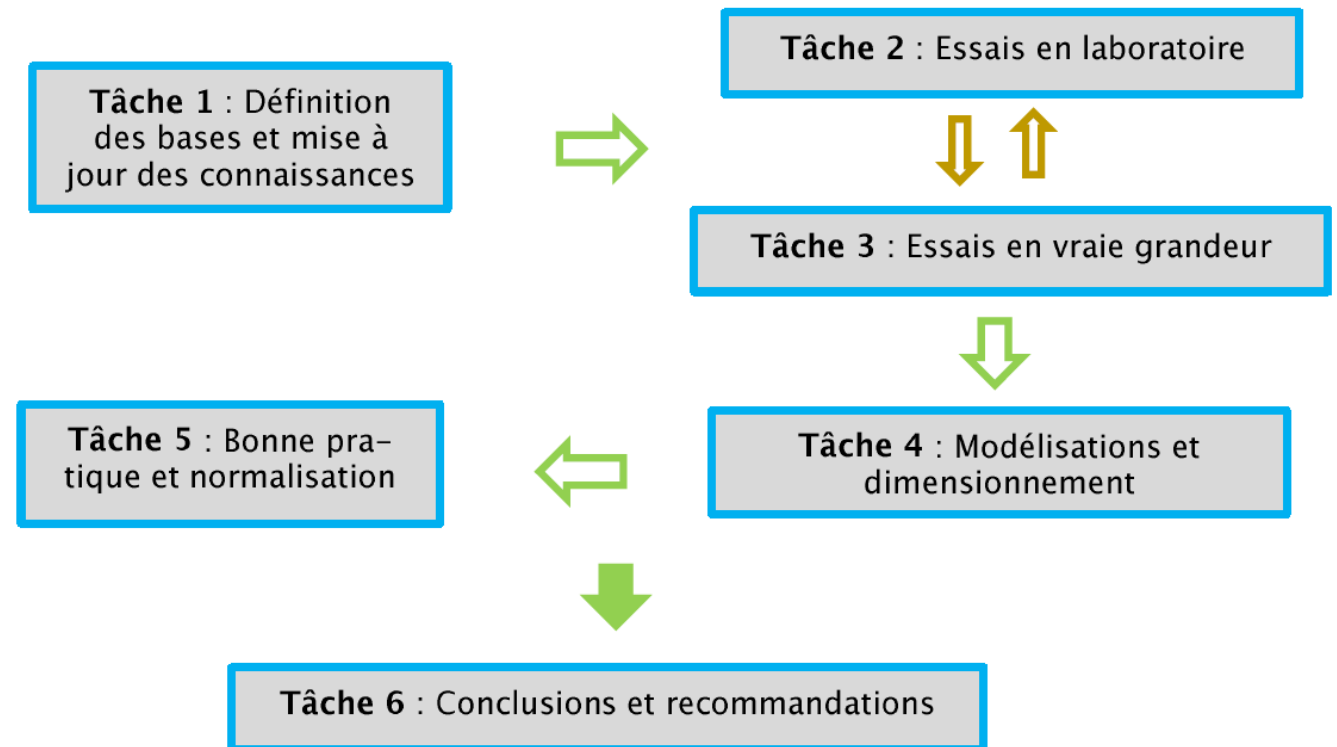
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Innosuisse – Agence suisse pour
l'encouragement de l'innovation



Projet VSS2019/422: utilisation de grilles de renforcement pour l'entretien des chaussées

- Objectif: promouvoir la **bonne pratique** dans le domaine des grilles de renforcement, ceci en fournissant les bases **méthodologiques et normatives** afin de les prendre en compte lors de la **conception** et du **dimensionnement** et ainsi mieux appréhender leurs **performances**



Projet VSS2019/422: utilisation de grilles de renforcement pour l'entretien des chaussées

- ▶ Planche d'essais
 - ▶ Sierre (T9), canton Valais
 - ▶ 4 planches + 1 référence
 - ▶ Env. 410 m²/planche
 - ▶ Pose: 15-16.10.2021
 - ▶ Différents essais et mesures



1906

SCHOELLKOPF AG

HUESKER
Ideas. Engineers. Innovations.

SYTEC
GEOPRODUCTS

>texum

SWISS REINFORCEMENT COMPANY

S&P

A Simpson Strong-Tie® Company



Projet VSS2019/422: utilisation de grilles de renforcement pour l'entretien des chaussées

► Sytec



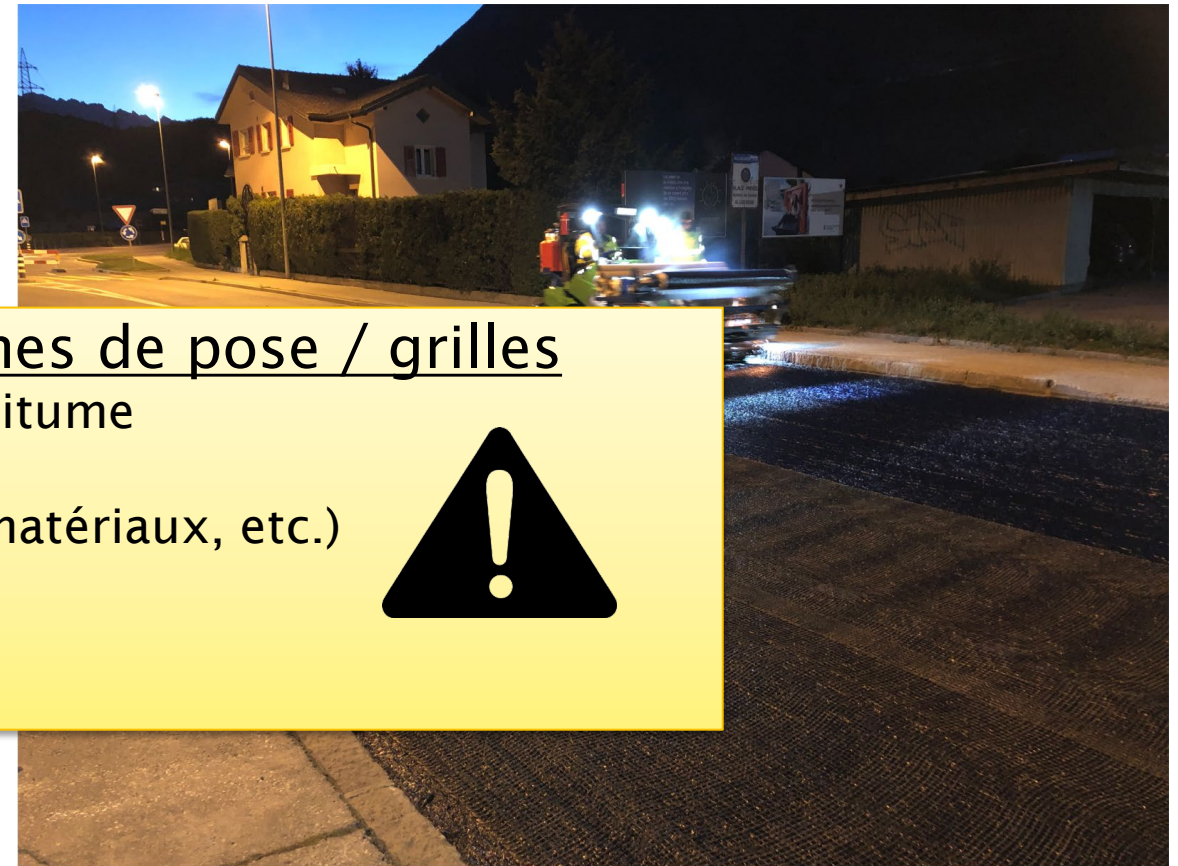
Texum



Projet VSS2019/422: utilisation de grilles de renforcement pour l'entretien des chaussées

► Schoellkopf (Huesker)

S&P Clever Reinforcement AG



Différents mécanismes de pose / grilles

- Avec/sans émulsion resp. bitume
- Dosage en émulsion
- Type de grille (géométrie, matériaux, etc.)
- Méthode de pose
- Gravillonnage ou chaux
- ...



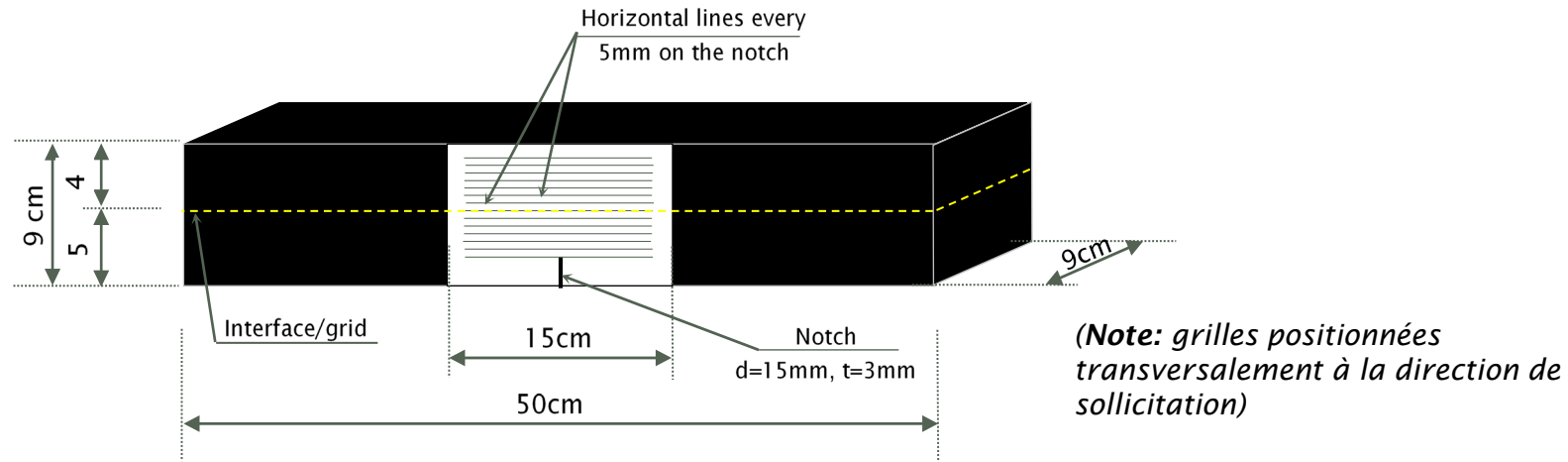
Aspects techniques

- Remontée de fissures
- Collage entre les couches

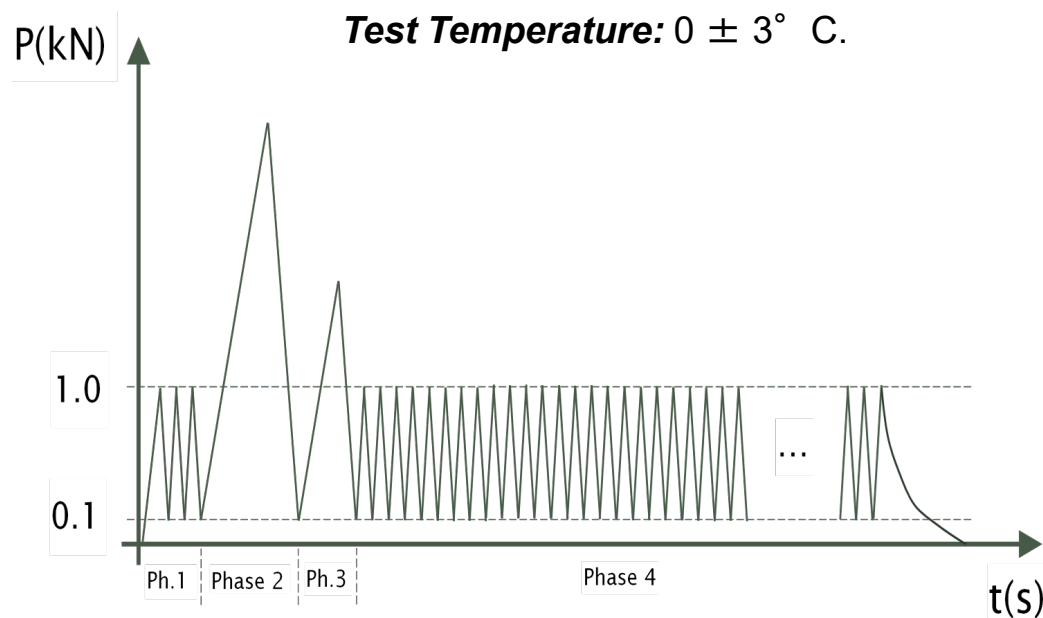
Attention: Liste non exhaustive!

Remontée de fissures

► Echantillon



► Chargement



Séquence de chargement

Phase 1: mise en place de l'échantillon dans le dispositif d'essai. Chargement et déchargement à $v=1 \text{ mm/s}$

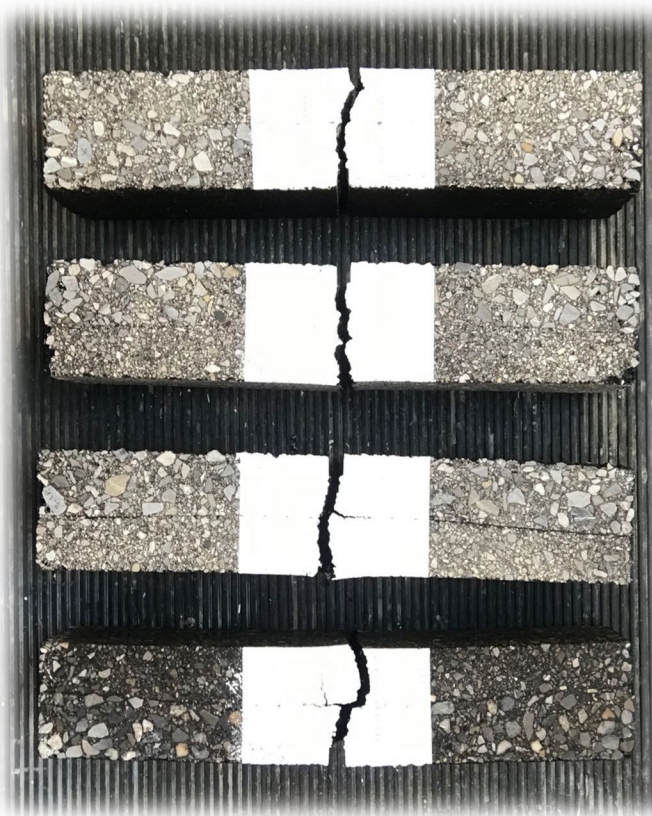
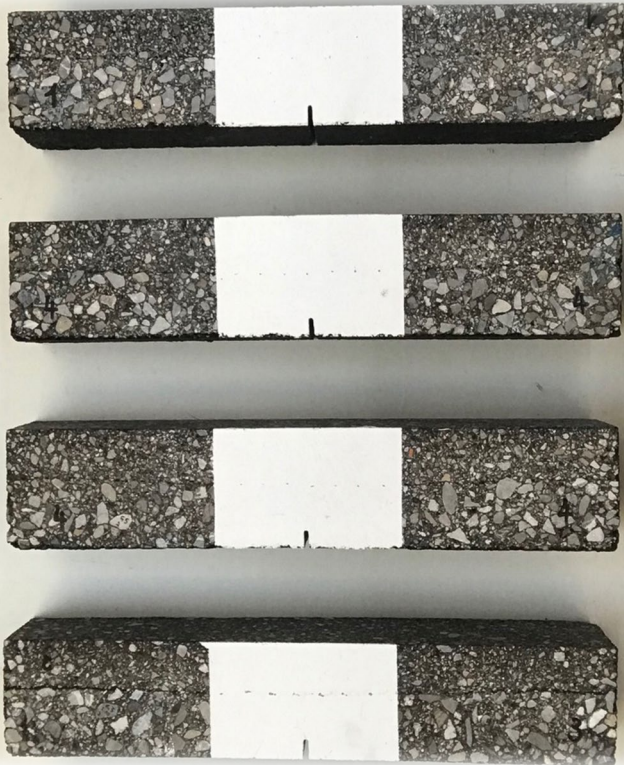
Phase 2: initiation fissuration (forte accumulation d'énergie dans l'échantillon): chargement à $v=0.5 \text{ mm/s}$, déchargement à $v=1 \text{ mm/s}$

Phase 3: avancement fissure (faible énergie dans l'échantillon): chargement à $v=0.5 \text{ mm/s}$, déchargement à $v=1 \text{ mm/s}$

Phase 4: propagation fissure: chargement et déchargement à $v=1 \text{ mm/s}$

Remontée de fissures

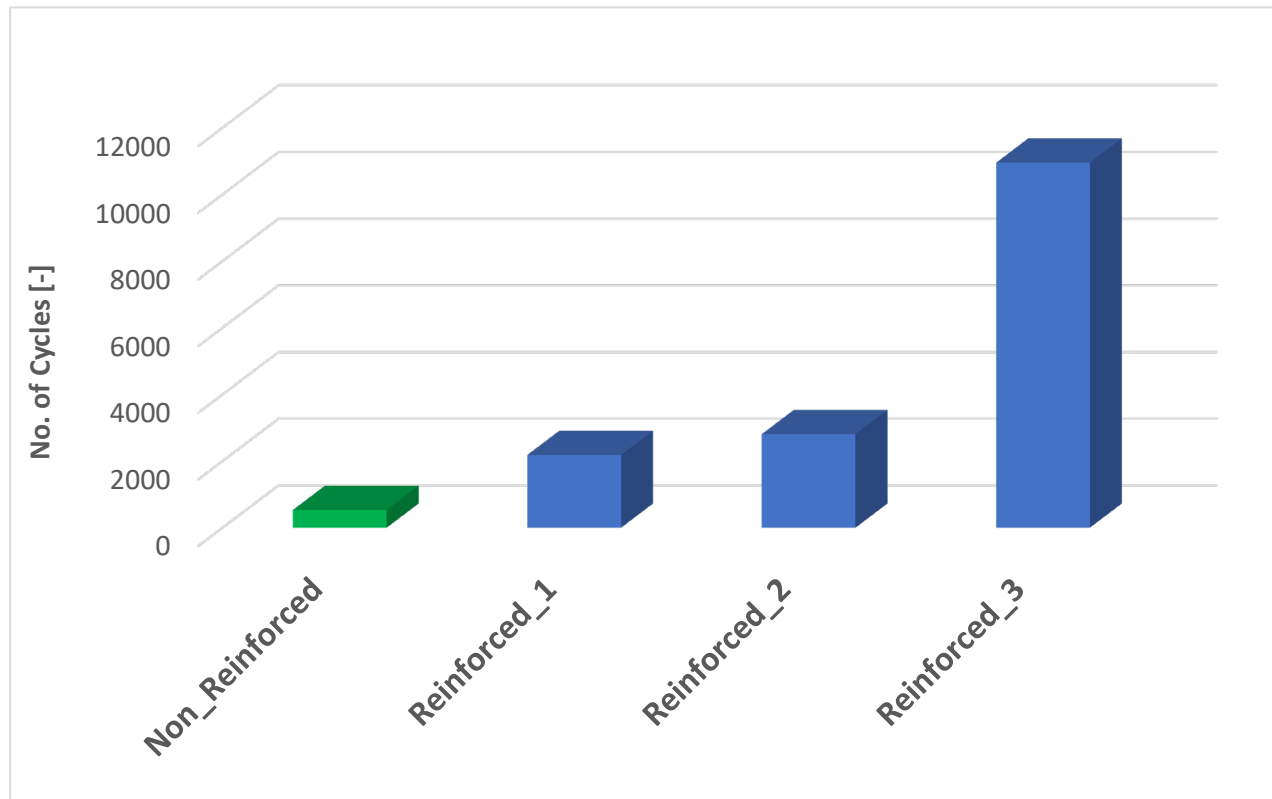
- ▶ Echantillons avant/après sollicitation



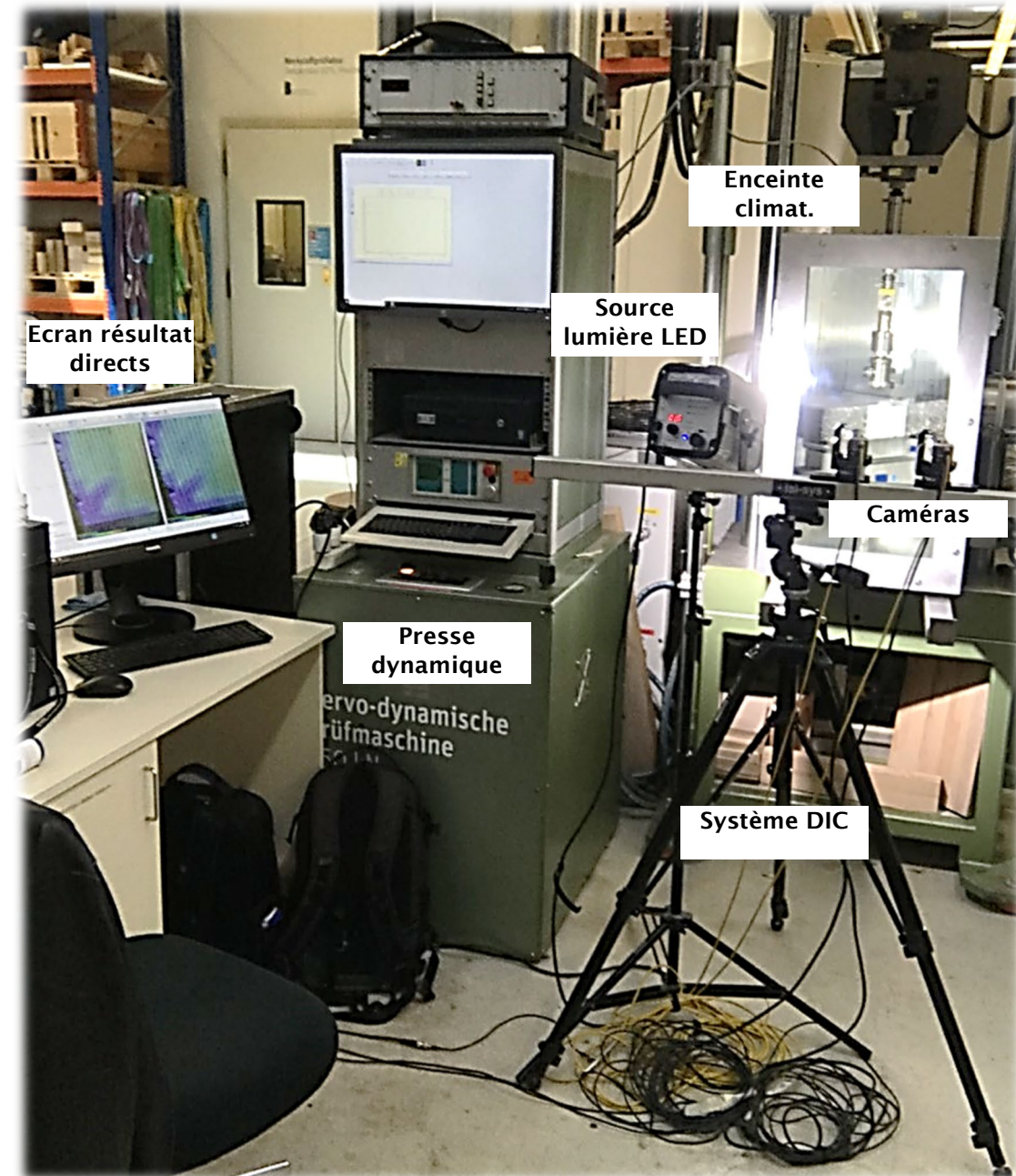
Source: BFH

Remontée de fissures

► Exemple de résultats

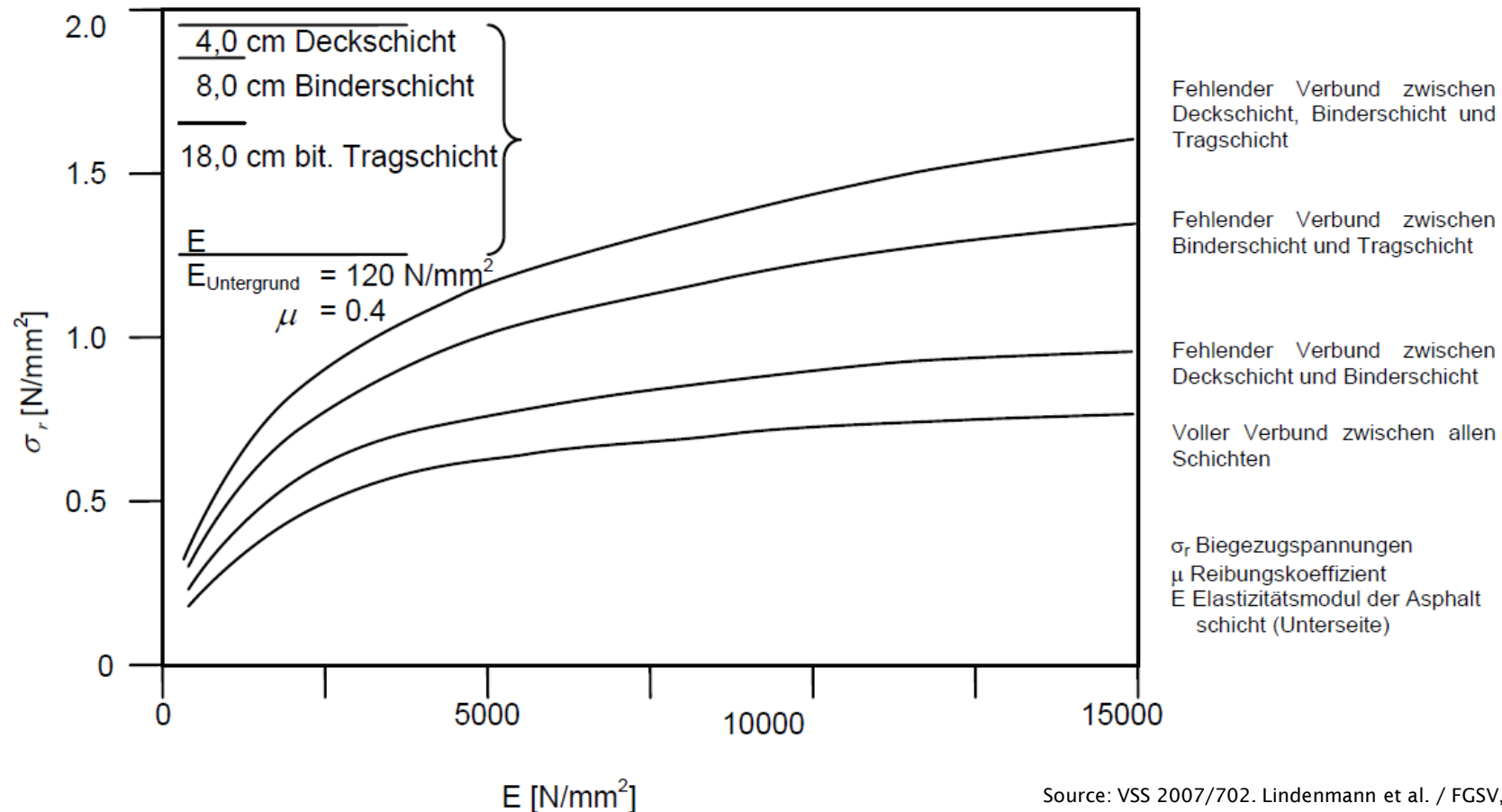


Source: BFH



Collage entre les couches

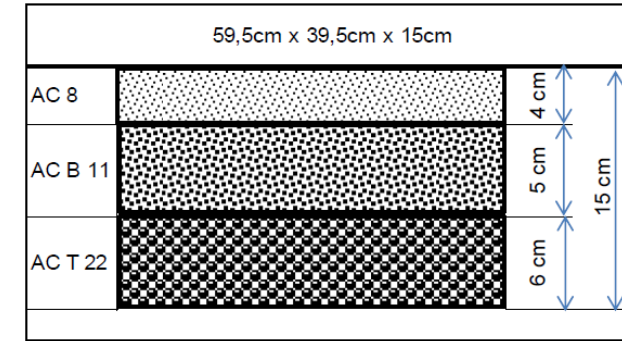
- Impact du collage entre les couches sur les contraintes de flexion dans la chaussée



Source: VSS 2007/702. Lindenmann et al. / FGSV, 1990

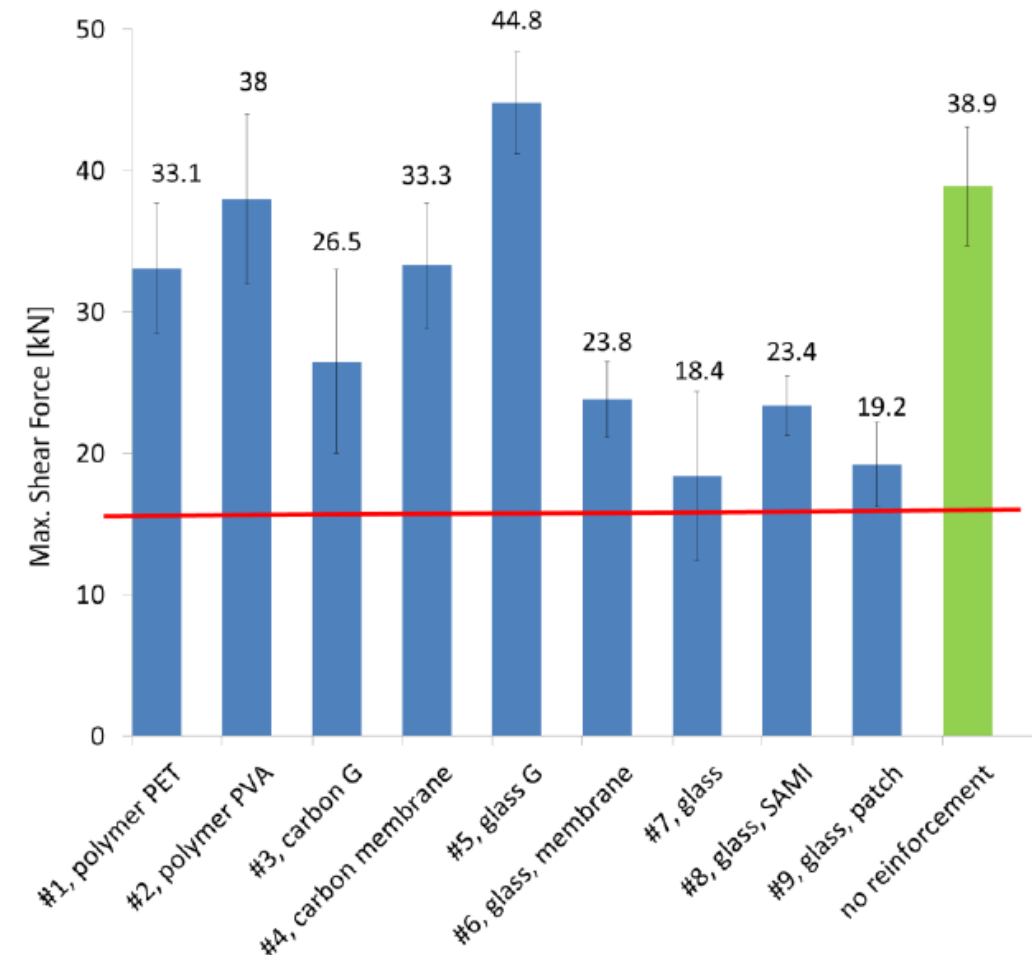
Collage entre les couches

- Analyse du collage entre la couche de roulement et de liaison



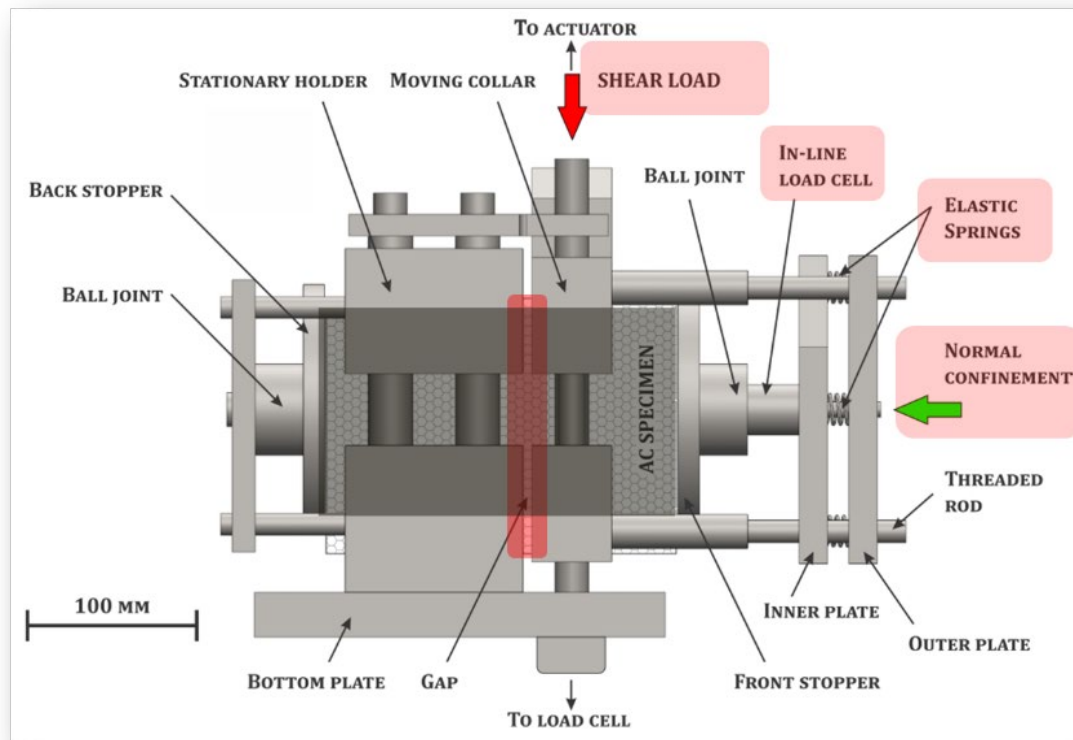
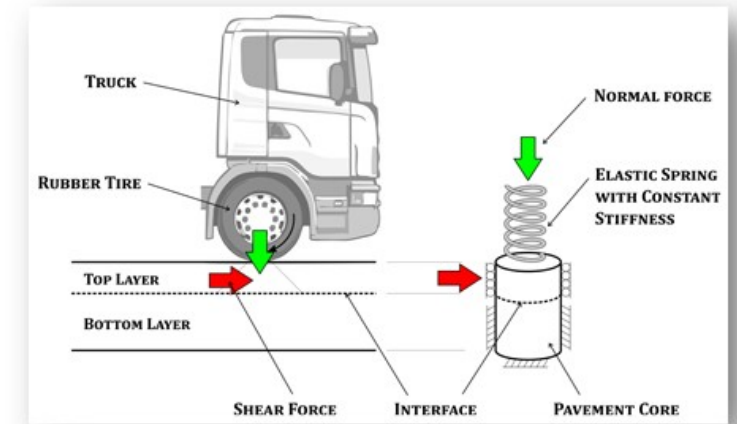
System No.	Material	tack coat	Application rate [g/m ²]
#1	polymer fibre (PVA) bitumen coated polymer grid with bitumized membrane	60% bit. polymer mod. cationic emulsion, 70°C	700g/m ²
#2	polymer fibre (PET) bitumen coated polymer grid with bitumized membrane	60% bit. polymer mod. cationic emulsion, 70°C	700g/m ²
#3	carbon fibre bitumen coated carbon grid	60% bit. polymer mod. cationic emulsion,	250g/m ²
#4	carbon fibre bitumen coated carbon grid with bituminized membrane	60% bit. polymer mod. cationic emulsion,	300g/m ²
#5	glass fibre bitumen coated glass grid	60% bit. polymer mod. cationic emulsion,	250g/m ²
#6	glass fibre bitumen coated glass grid with bitumized membrane	60% bit. polymer mod. cationic emulsion,	300g/m ²
#7	glass fibre open fiberglass geogrid and coated with a patent-pending elastomeric polymer	cationic emulsion, 70°C	200g/m ²
#8	glass fibre, SAMI glass grid 1500g/m ² highly polymer mod. Bitumen spread with a grit layer		
#9	glass fibre, patch glass grid with self-adhesive bituminous membrane	no tack coat	

Source: Raab et al, IJPC, 2013

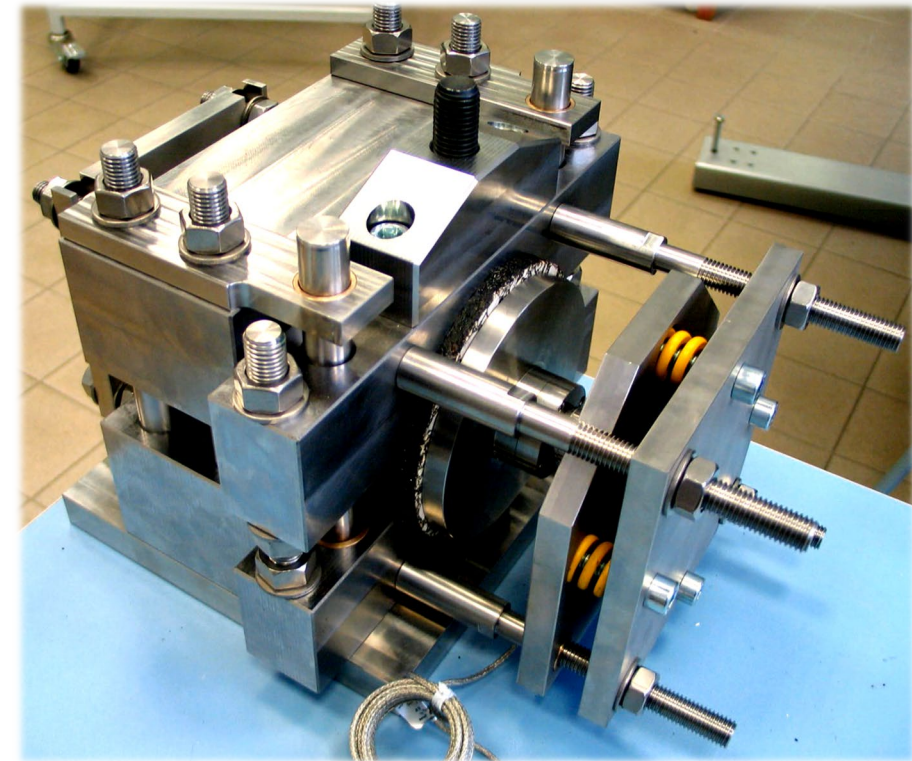


Collage entre les couches

- ▶ Postulat: le collage est un paramètre déterminant
- ▶ Des alternatives à l'essai Leutner sont requises
- ▶ Essai AST: Advanced Shear Tester

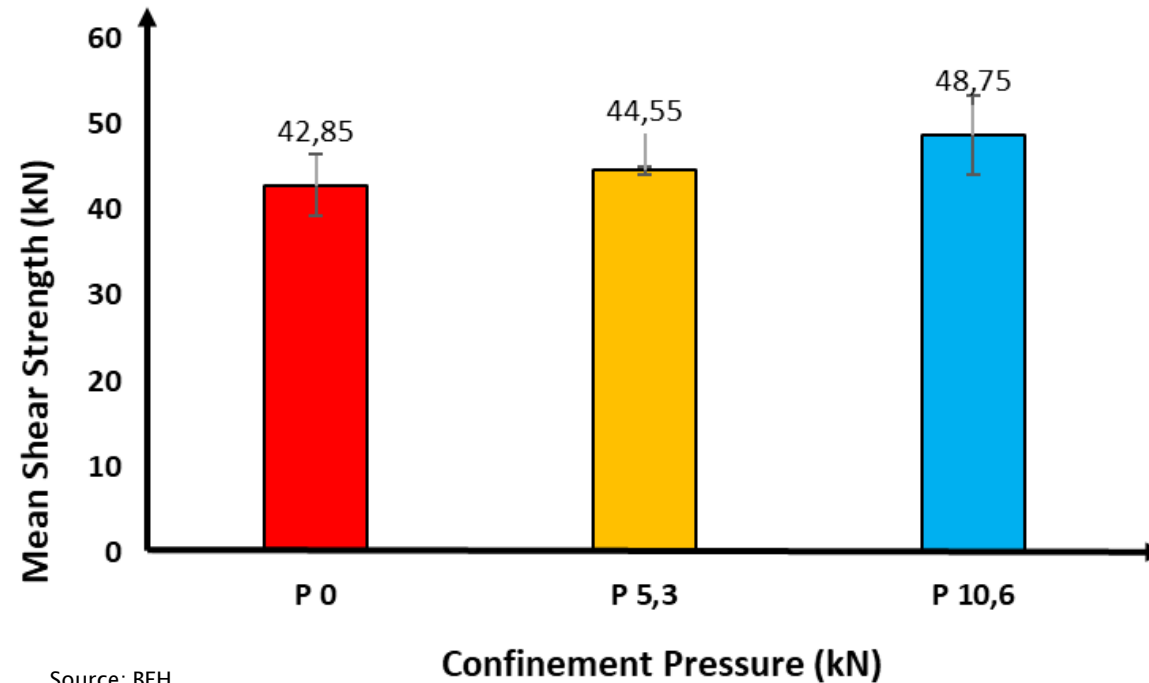
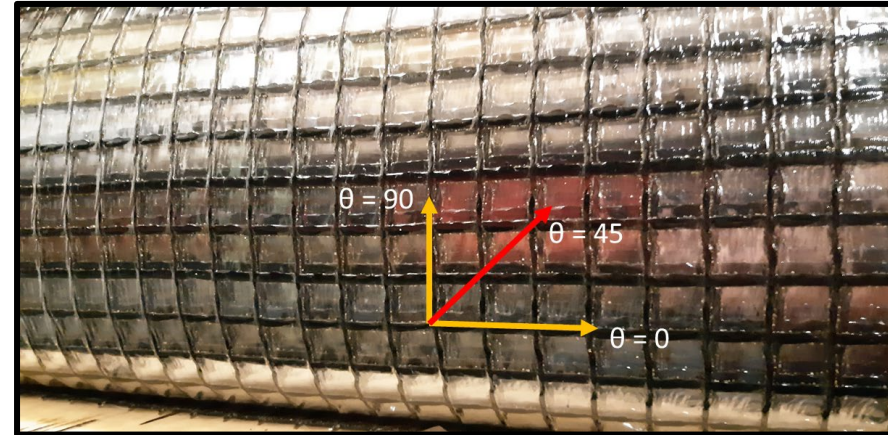


Source: Zofka et al.



Collage entre les couches

- ▶ Impact de la direction de sollicitation
- ▶ Impact de la pression de confinement

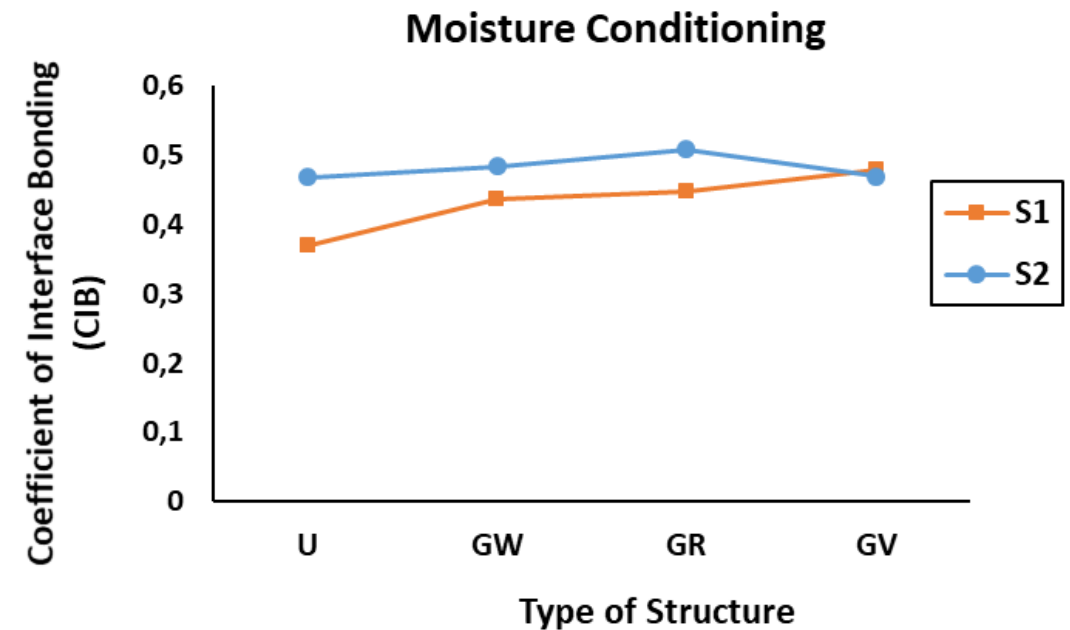
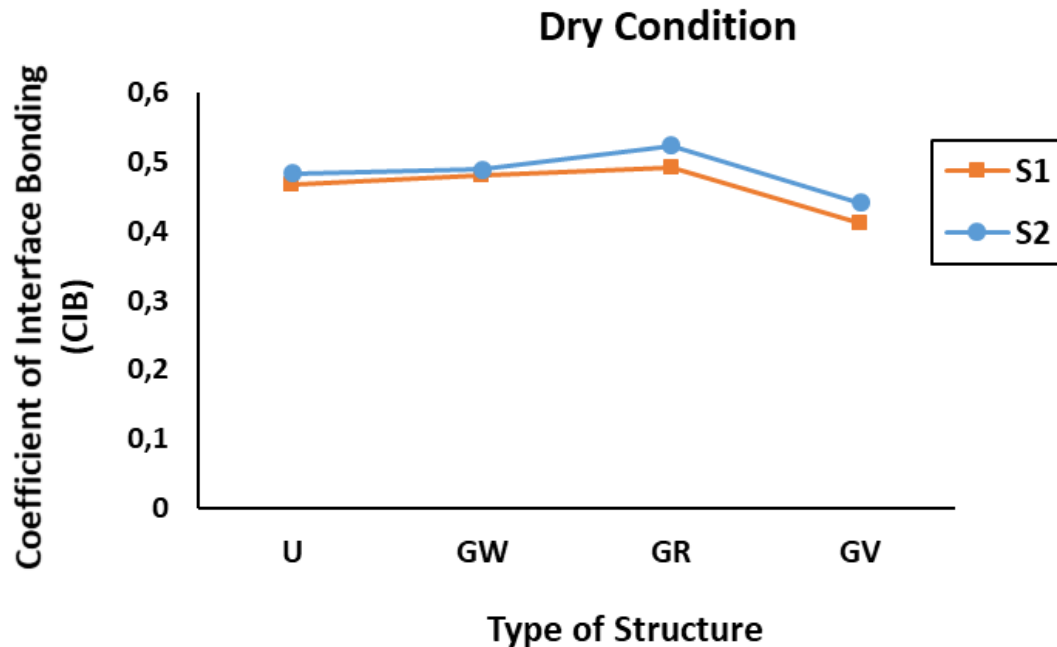


Source: BFH

Collage entre les couches

► Coefficient of Interface bonding (CIB)

- Permet de prendre en considération les contraintes de cisaillement ainsi que la déformation à la rupture
- $CIB = \text{résistance cisaillement max.} / \text{déplacement max.}$
- Exemple de résultats (u=non renforcé)



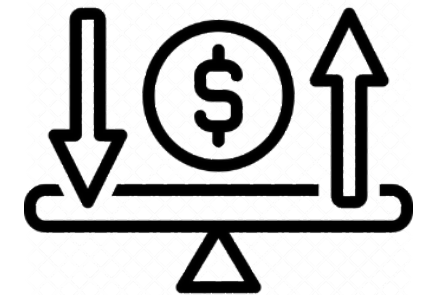
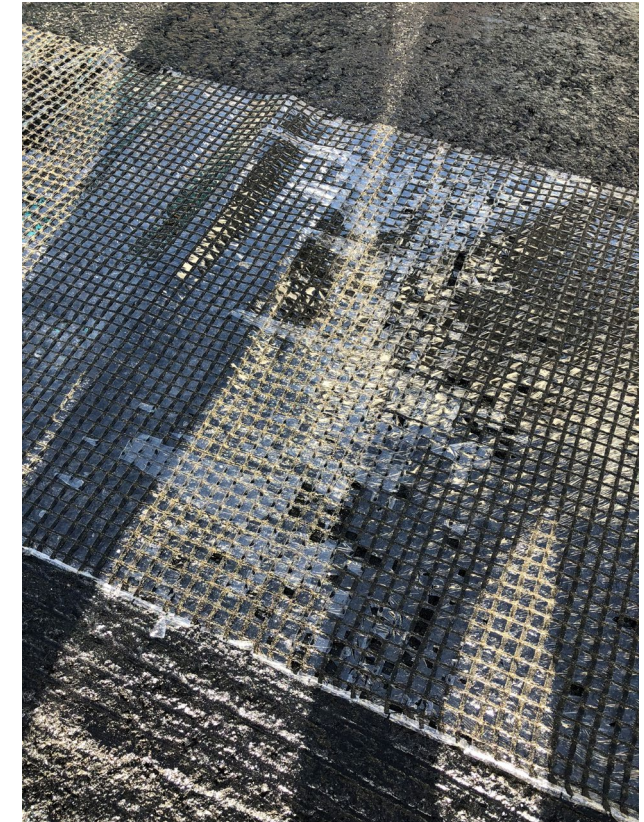
Source: BFH

Bilan

- Potentiel
- Enjeux & perspectives

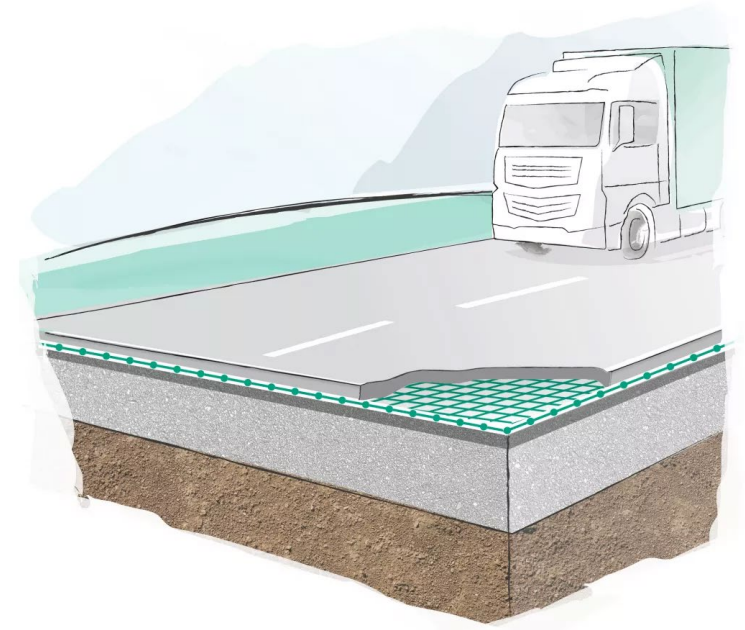
Potentiel

- ▶ Les grilles de renforcement sont une **alternative crédible** pour l'assainissement/renforcement des chaussées
 - ▶ Economies de ressources finies (granulats, bitume)
 - ▶ Travaux plus rapides
- ▶ Impact notamment sur la propagation des fissures (remontée) et homogénéisation de la portance
- ▶ Indispensable que la pose soit réalisée de manière optimale (attention qualité du support)
- ▶ Différents produits aux caractéristiques mécaniques et conditions de pose variables → ne pas généraliser les conclusions obtenues avec un produit
- ▶ Analyses coûts-bénéfices/bilan global multicritère requis (bilan global)

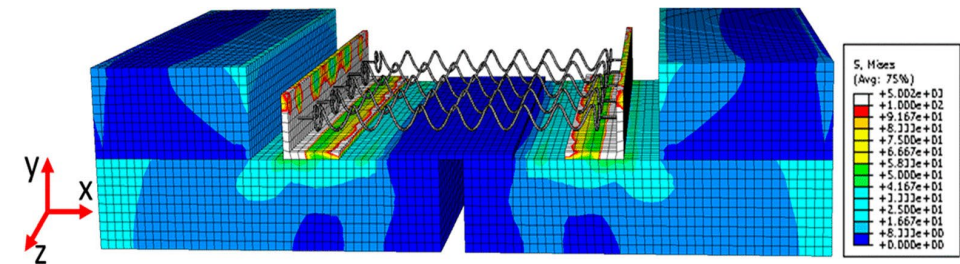


Enjeux et perspectives

- ▶ Promouvoir la **bonne pratique** dans le domaine
- ▶ **Quantification** de l'impact des grilles de renforcement (**dimensionnement analytique**)
 - ▶ En laboratoire
 - ▶ In situ
- ▶ Optimisation des **performances mécaniques**: collage et son évolution, épaisseur de recouvrement, etc.
- ▶ **Recyclage** des grilles de renforcement
- ▶ Performances à **long terme**
- ▶ Aspects **normatifs**



Source: beco-bermueller.de



Source: EMPA

Merci beaucoup pour votre attention...

Remerciements particuliers à Dr. R. Kakar (BFH) & Dr E. Solatiyan (BFH – ETS Montréal)



Prof. Dr. Nicolas Bueche

 +41 79 602 16 32

 nicolas.bueche@bfh.ch