

**Restitution des résultats de l'ORSI « DEDIR »**  
**du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières**  
**IFSTTAR Nantes - 17 mai 2018**

**Essais de caractérisation à la rupture  
du collage « grille / enrobé »**

**UNIVERSITE**  
**BRETAGNE SCIENCES**  
**LOIRE POUR L'INGENIEUR**



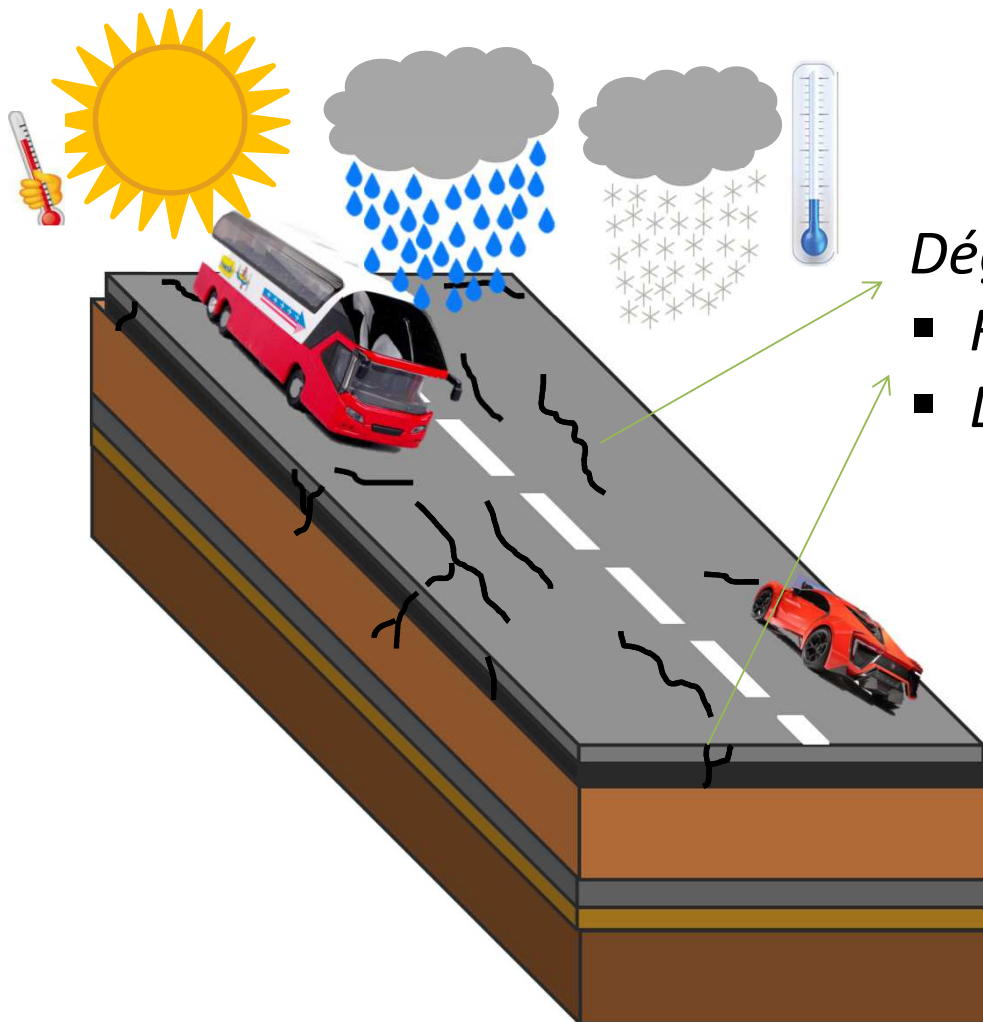
*SolDuGri grant ANR-14-  
CE22-0019(France)*

**Maissa GHARBI**  
**LAMES/ MAST/ IFSTTAR**



# Contexte

Trafic + Climat



*Dégradation:*

- *Fissuration*
- *Décollement entre couches...*

**Besoin**

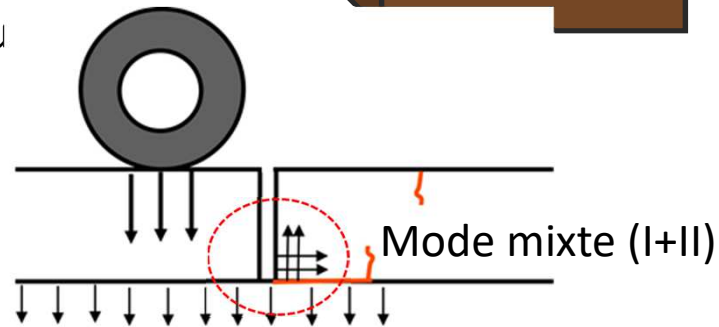
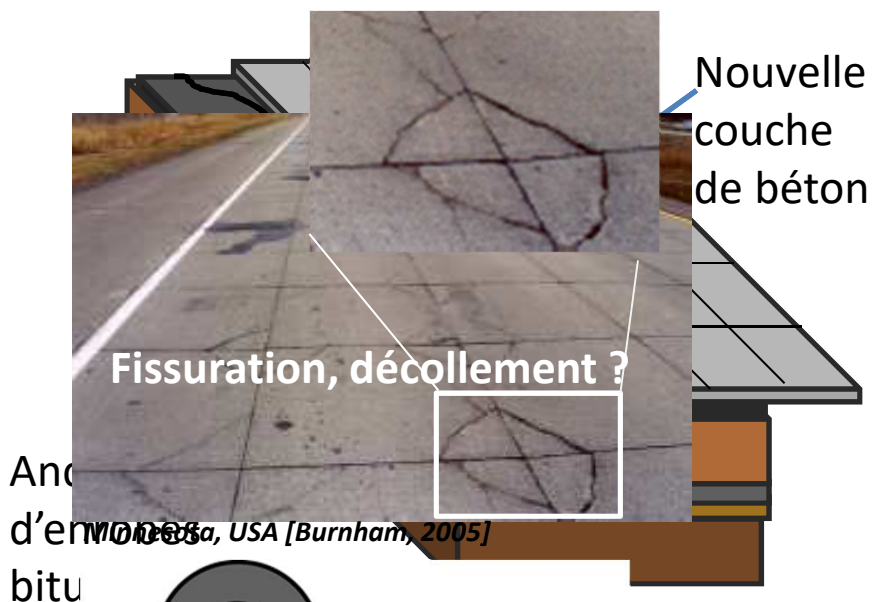
**Réparation!!**

## Contexte

## Exemples de techniques de réparation

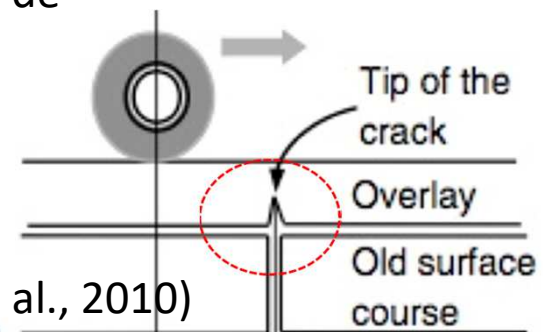
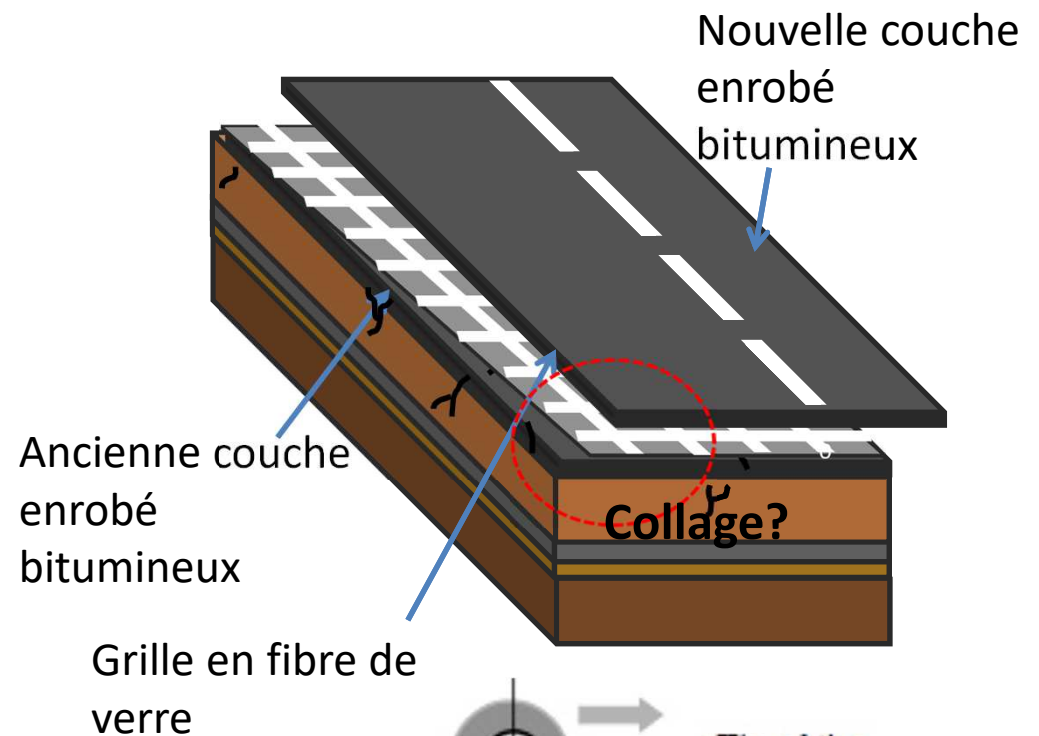
**Type1:** Coulage du béton sur l'ancienne couche d'enrobé (BCMC)

1<sup>ère</sup> solution urbaine (France)



(Tran et al., CP2004; Chabot et al., Athènes2007)

**Type2:** Renforcement par une grille en fibre de verre

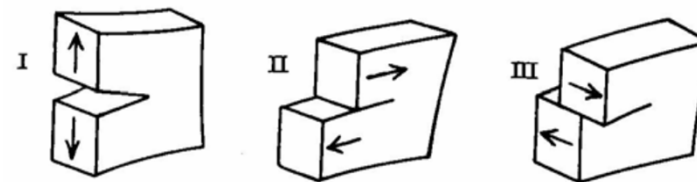


(Lytton et al., 2010)

# Contexte Etude des mécanismes de rupture de collage

## States of the Art de la RILEM (Ed Springer):

- Essais en mode « pur » I, II, III, STAR PartI et al:
  - ATB2013 (Chap. VI: Canestrari et al.)
  - SIB2018 (Chap. IV: Canestrari et al.)
- Essais en mode mixte STAR MCD 2018 (Chap. III: Petit et al.), Recommandations (Petit et al., M&S 2018)

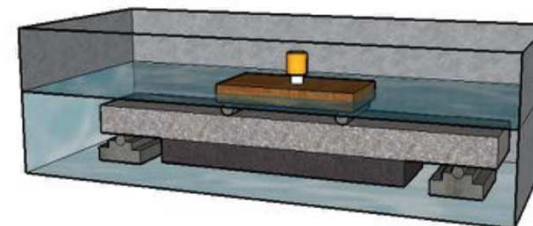


## 2 travaux de thèse IFSTTAR (Pouteau, 2004) (Hun, 2012)

- Etude de la rupture du collage en mode mixte
- M4-5n, Essais labo et essai accéléré



(Pouteau, 2004)

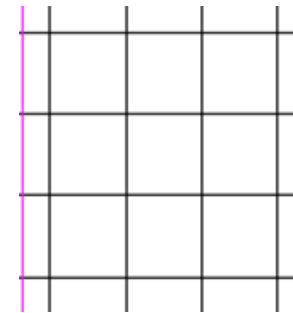


(Hun, 2012, Chabot et al., 2017)

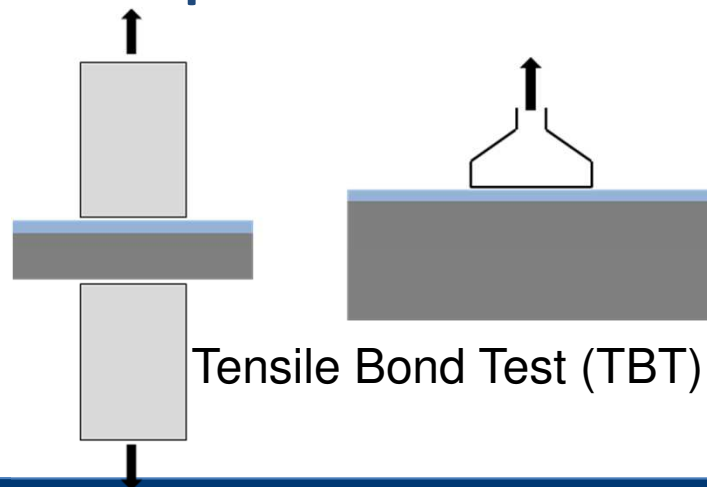
## Objectifs de la thèse

→ Evaluer les mécanismes de rupture du collage en mode I à partir des échantillons prélevés in situ

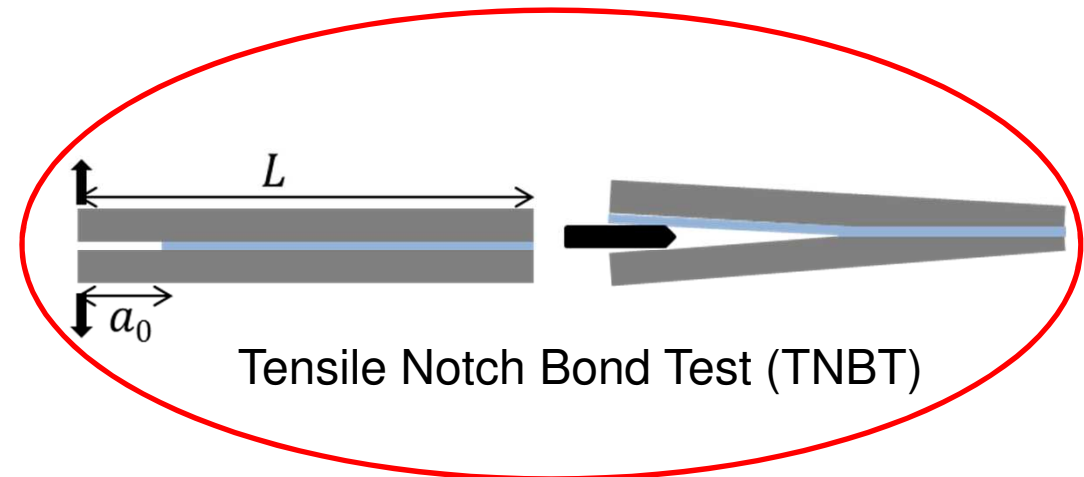
- Essai de rupture (TNBT) en mode I « rapide »
- Taille d'éprouvette suffisamment grande
- Essais statiques à  $\neq T^\circ$
- Evaluation des effets de l'eau sur le collage



→ Comparaison avec d'autres essais et observations essais in situ



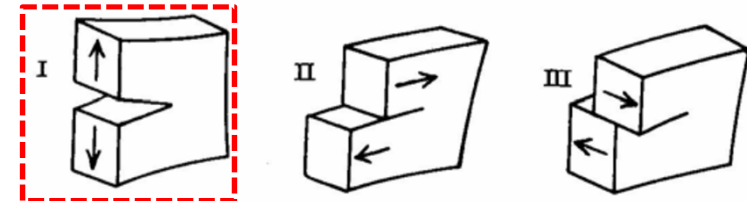
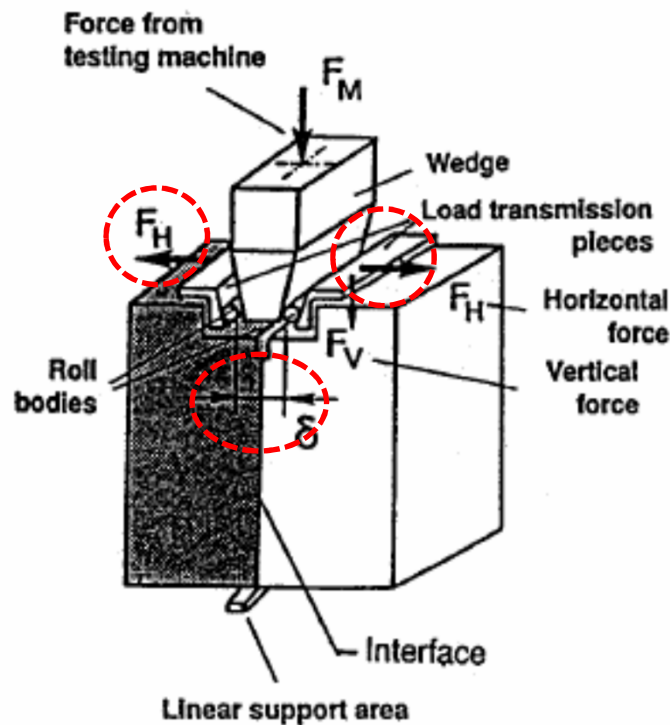
Tensile Bond Test (TBT)



Tensile Notch Bond Test (TNBT)

# Objectifs de la thèse

## Utilisation de l'essai de fendage par coin (Wedge Splitting Test) (Tschegg, 1986, 1995)



- Possibilité de surface de rupture importante
- Utilisation de roulements à billes → frottement
- Mode « pur » I: angle coin =  $5^\circ < \alpha < 15^\circ$
- Ouverture de fissure  $\delta$

$$F_H = \frac{F_M}{2 \tan \alpha/2}, \alpha = 5-12^\circ \dots < 15^\circ$$

→ Adaptation du WST aux échantillons issus de chantier

# Plan de la présentation

## ☐ Essai fendage par coin WST

- ☐ Adaptation du WST
- ☐ Instrumentation
- ☐ Méthodes d'analyse

## ☐ Résultats des essais et discussions

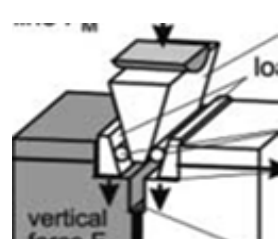
- ☐ Interface Béton/Enrobé (0.7 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats
- ☐ Interface Enrobé/ Grille/ Enrobé (2 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats

## ☐ Conclusion et perspectives

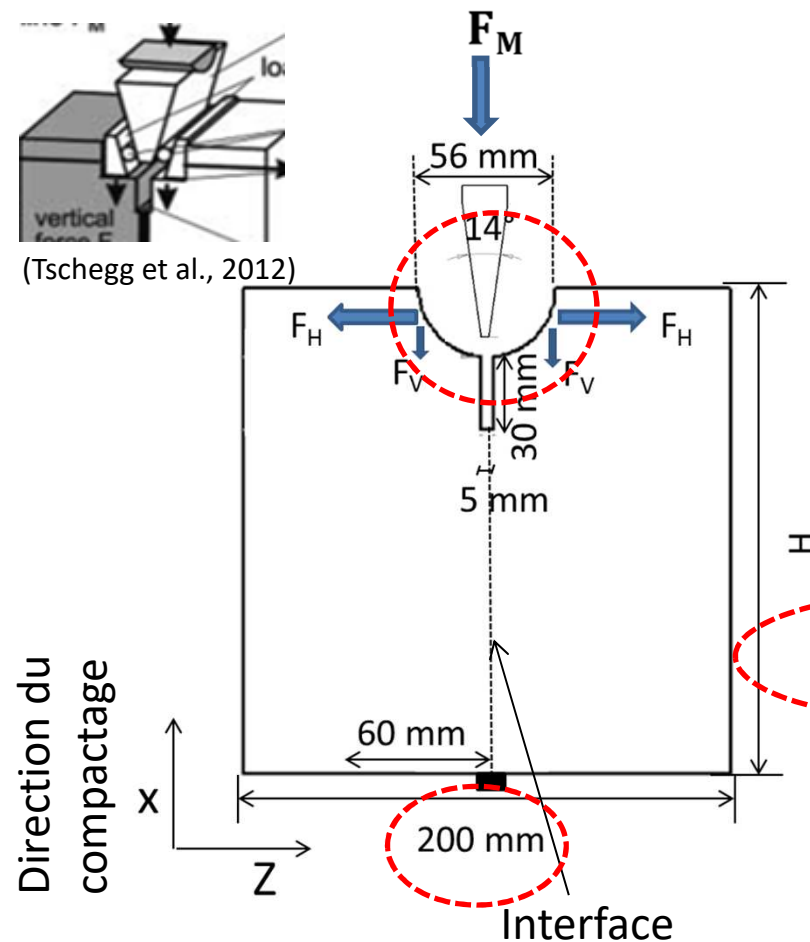


# Adaptation du WST

## Wedge Splitting Test (Gharbi et al., BCRRA2017 & CFM2017)



(Tschegg et al., 2012)



Coin (14°)

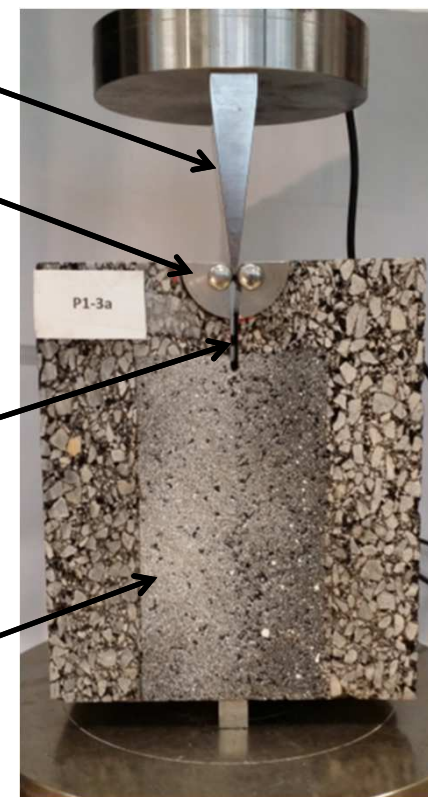
Pièces de transmission de la charge



$H \geq 200mm$

entaille

Mouchetis (ZOI)



Force de fendage



$$F_S = 2F_H$$

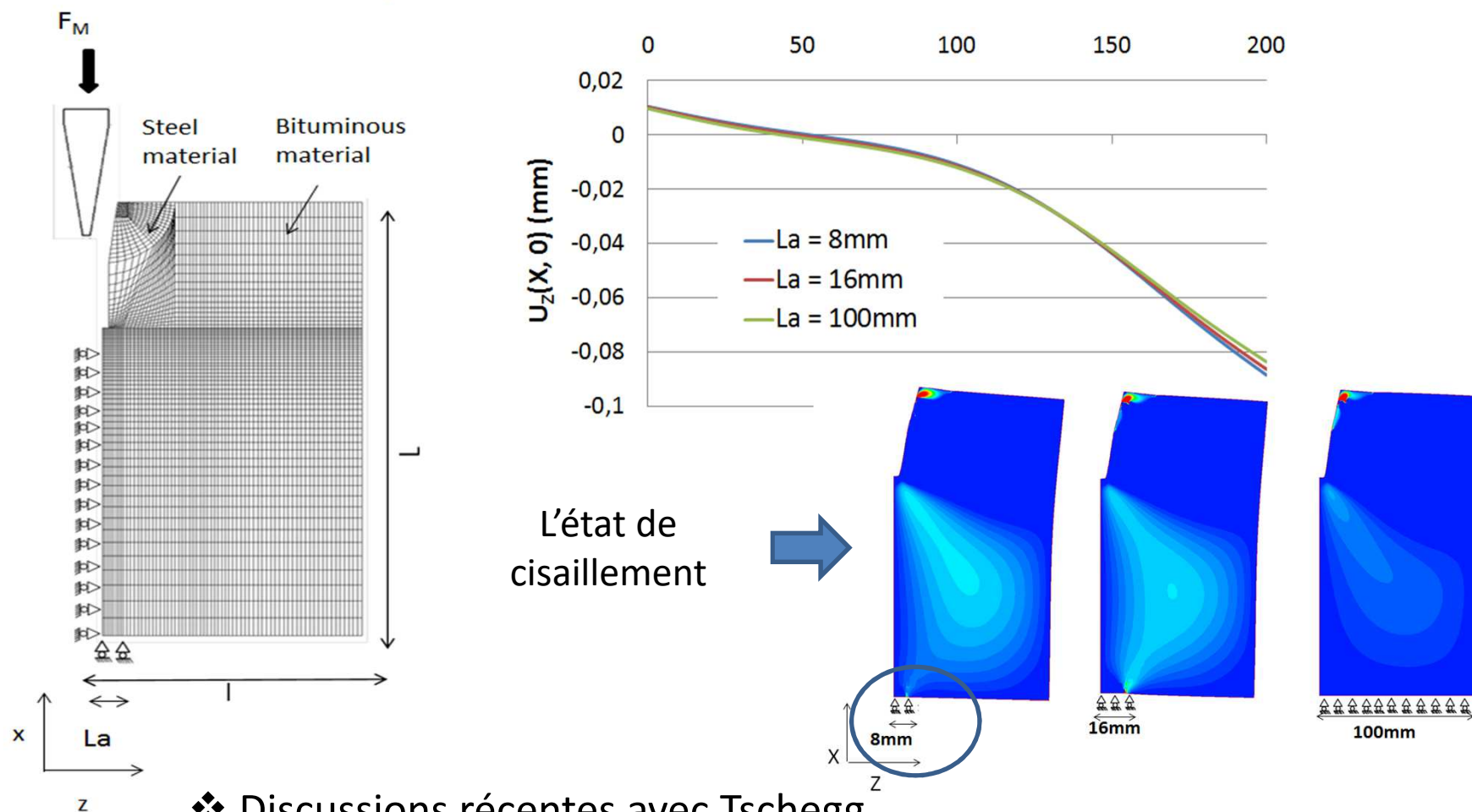
&

$$S_F \approx 0.024 m^2$$



# Adaptation du WST

Simulation en élément fini sur Cast3M → Effets de la variation de l'épaisseur de l'appui (Gharbi et al., EATA 2017):

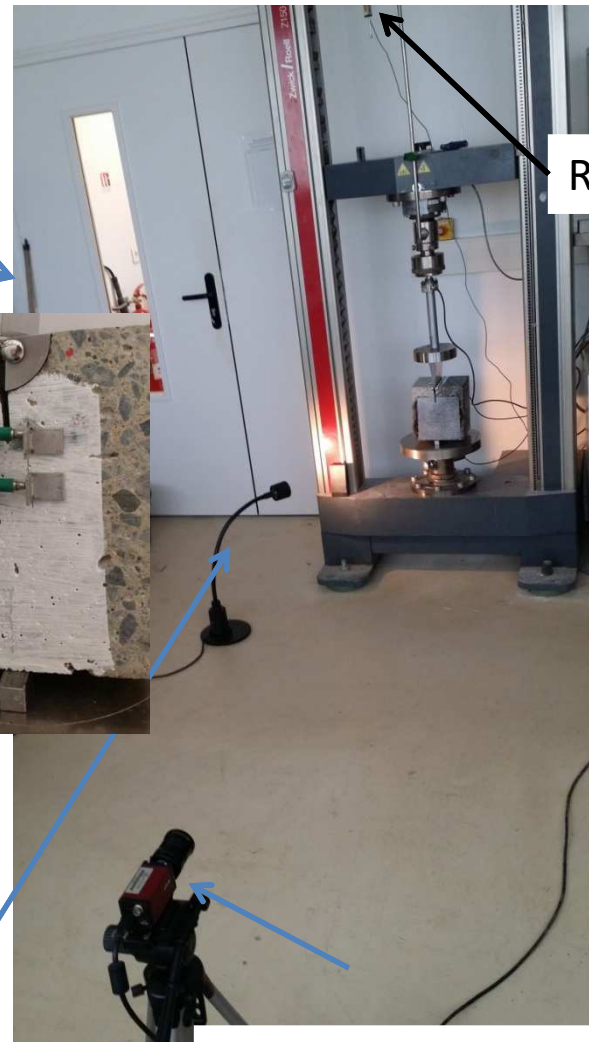
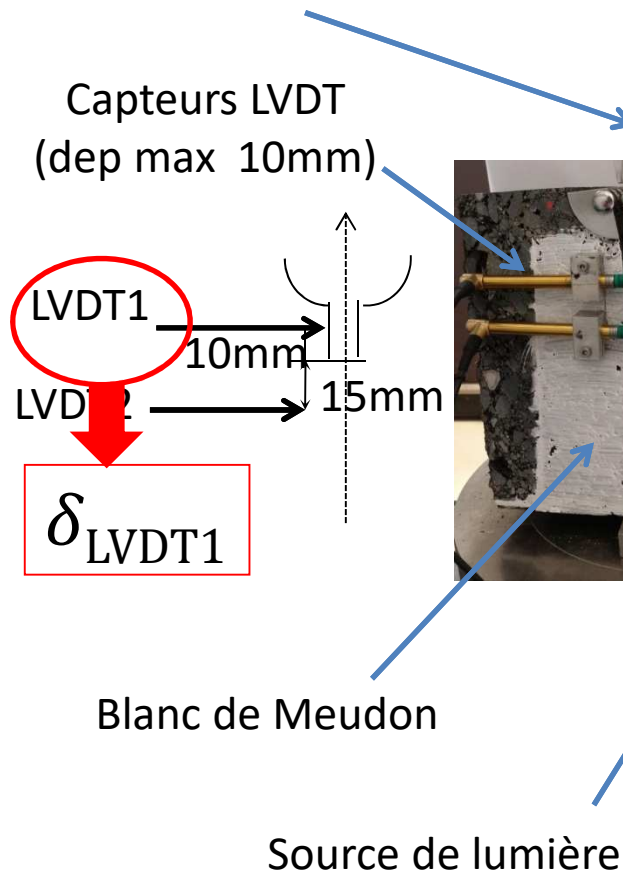


❖ Discussions récentes avec Tschegg

# Instrumentation

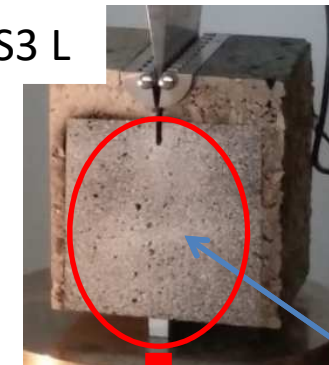
Presse Electromécanique

ANR  
SolDuGri



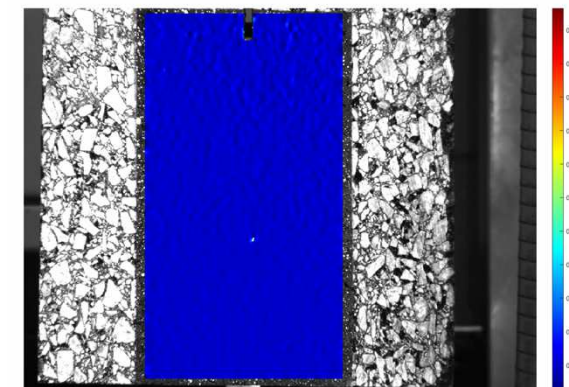
Caméra CCD  
(Résolution 1388 X 1038 pixel<sup>2</sup>)

RMS3 L



Mouchetis

$\delta_{DIC}$

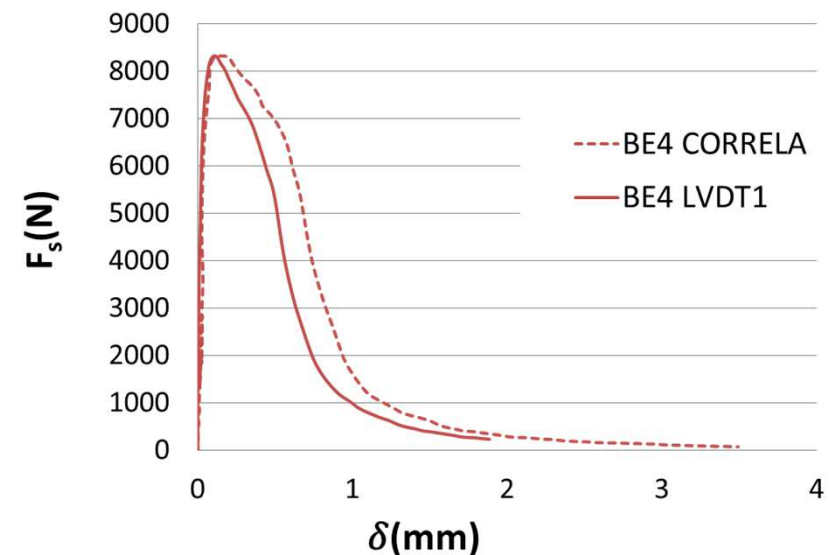
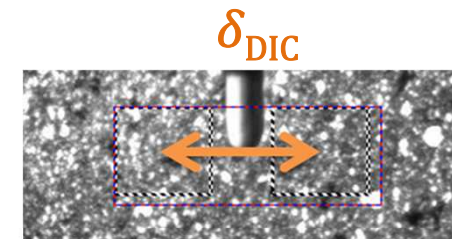
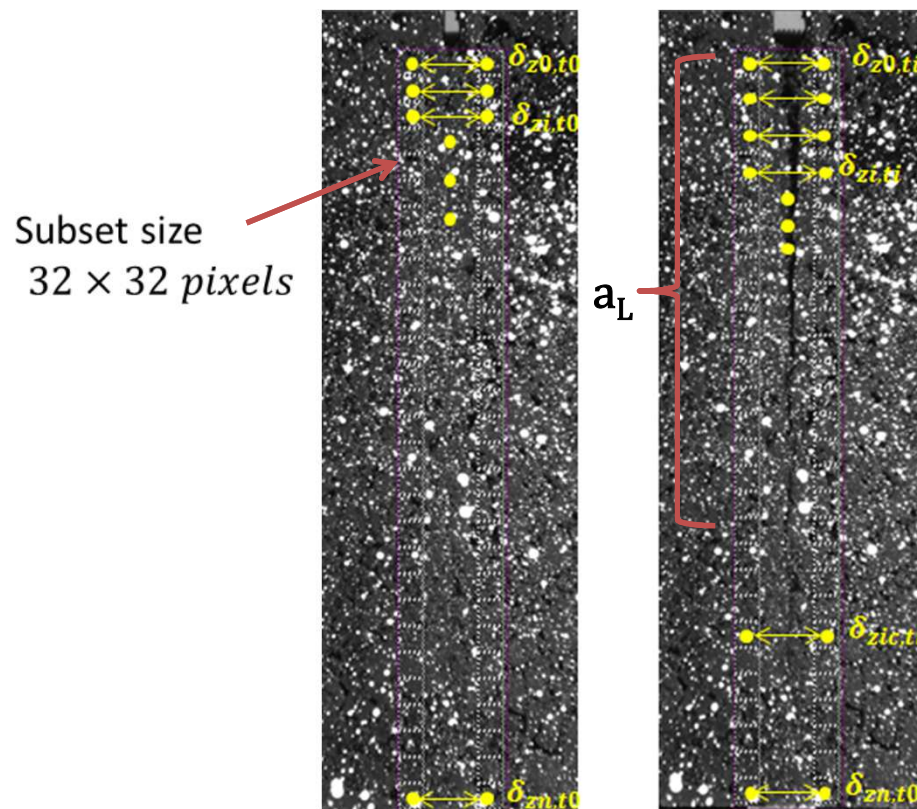


# Méthodes d'analyse

## Utilisation des techniques de corrélation d'image « DIC technics »

(Sutton et al., 1983)

Logiciel Correla 2012 (Univ. de Poitiers)



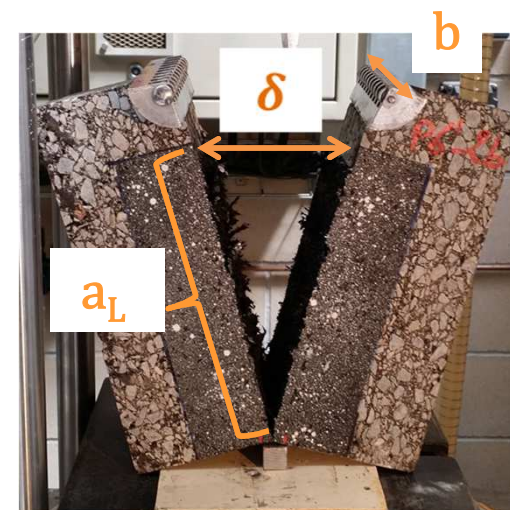
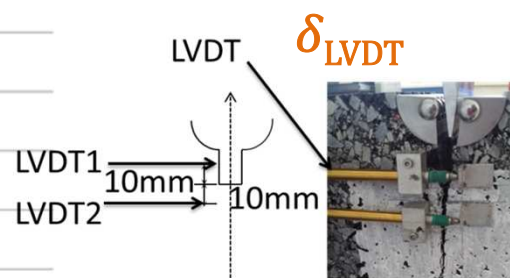
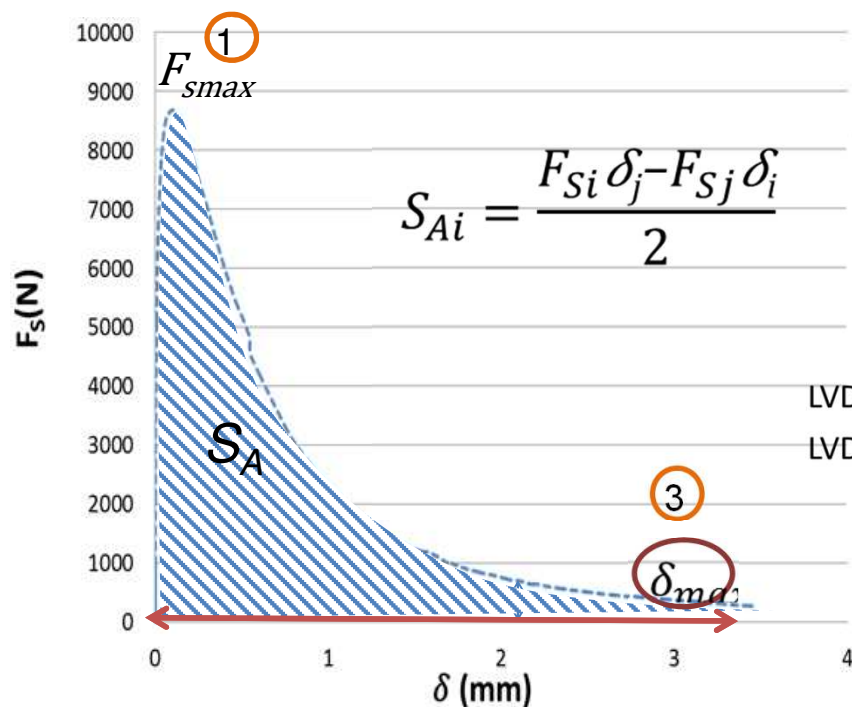
Determination of the ligament length “ $a_L$ ”

# Méthodes d'analyse

## Trois indicateurs (Cf. Poster Gharbi et al., JTR 2018)

1. Force max
2. L'énergie spécifique de rupture (Méthode de l'air) (Davidson et Lee, 1995)
3. Allure de la pente décroissante

$$G_F = \frac{S_A}{S_F} \quad \text{avec} \quad S_F = a_L \times b$$





# Plan de la présentation

## ☐ Essai fendage par coin WST

- ☐ Adaptation du WST
- ☐ Instrumentation
- ☐ Méthodes d'analyse

## ☐ Résultats des essais et discussions

- ☐ Interface Béton/Enrobé (0.7 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats
- ☐ Interface Enrobé/ Grille/ Enrobé (2 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats

## ☐ Conclusion et perspectives

## Interface Béton/enrobé ( BCMC)

### 4 éprouvettes (BE) extraites d'une planche FABAC : 13 ans (Pouteau, 2004)

- Interface grenailé,  $e/c = 0.61$
- BBSG:  $E = 13000 \text{ MPa}$  ( $15^\circ\text{C}$ ,  $10 \text{ Hz}$ );  $\nu = 0.35$
- % de vide : BBSG= 7%; béton= 4.8%



→ Grenailage ne semble retarder que l'amorçage du décollement mais pas la durée de vie finale de la chaussée (Pouteau et al., RGRA847 2006)(Chabot et al., CP2008)

### 6 éprouvettes (1GT) fabriquées en laboratoire : 6 ans (Hun, 2012)

- Interface non grenailée,  $e/c = 0.68$  (Hun et al., CP2012)
- BBSG:  $E = 13690 \text{ MPa}$  ( $15^\circ\text{C}$ ,  $10 \text{ Hz}$ );  $\nu = 0.35$
- % de vide: BBSG= 9.6%; béton= 2.33%



→ L'eau fragilise l'interface N/B (Chabot et al., MCD 2016 & EJECE 2017 )

# Interface Béton/enrobé

## Etape 1: Planche d'essai



## Etape 3: Encoche et entaille



≈ 18kG

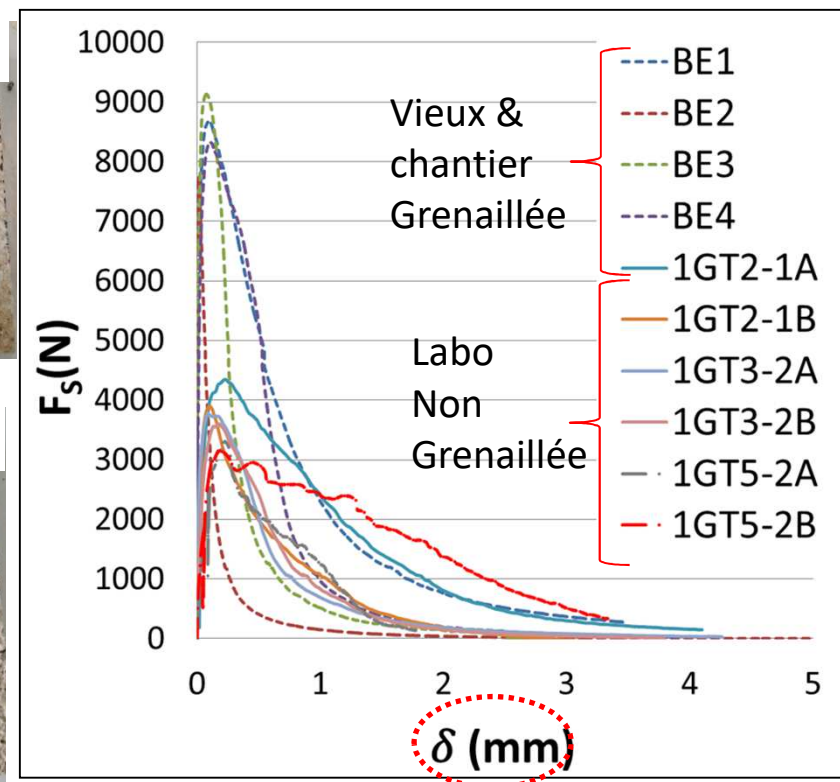
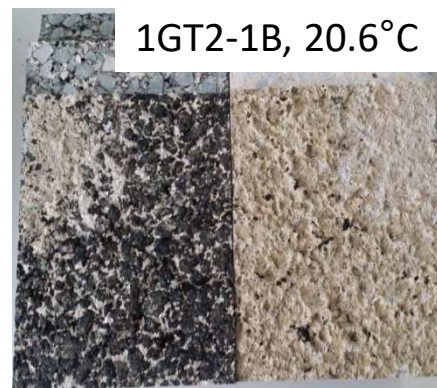
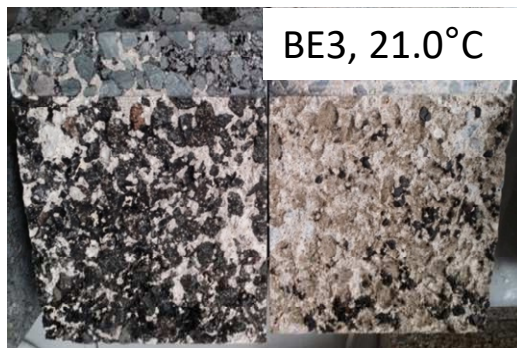
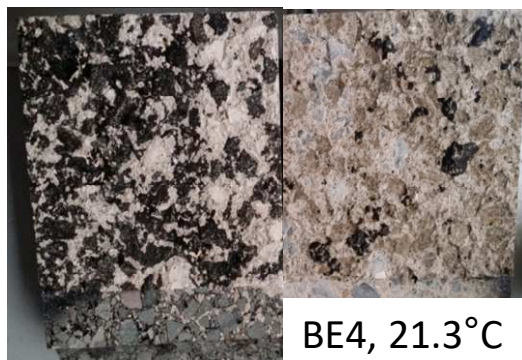
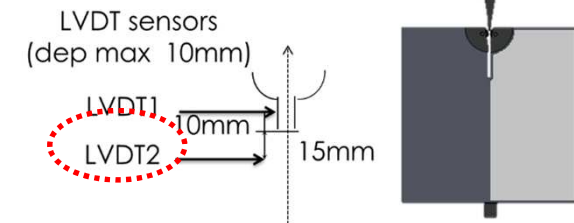
$H = 200mm$



# Observations & Résultats (20°C; 0.7mm/mn)

Extraites de la planche  
**FABAC/ interface grenailée**  
(Pouteau et al., 2004)

Fabriquées en labo /  
**interface non grenailée**  
(Hun et al., CP2012)



Courbes  $F_s - \delta_{LVDT1}$  (Gharbi et al., CFM 2017)

## Observations & Résultats (20°C; 0.7mm/mn)

	<i>Specimens</i>	$S_F$ (m <sup>2</sup> )	<sup>1</sup> $F_{Smax}$ (N)	$S_A$ (N.m) LVDT1 → DIC	$G_F$ (J/m <sup>2</sup> ) LVDT1 → DIC	<sup>2</sup> $G_{Faverage}$ LVDT1(J/m <sup>2</sup> )
Interfaces grenillée	BE1	0.021	8687	7.23→11	343→543	<b>201</b>
	BE2		-----	1.24	58	
	BE3		-----	3.39	159	
	BE4		8321	5.25→6.24	246→293	
Interfaces non grenillée	1GT-3-2A	0.018	3779	2.65	125	<b>181</b>
	1GT-3-2B		3601	2.69→3.02	126→168	
	1GT-2-1A		<b>3682</b>	5.59	263	
	1GT-2-1B			2.74	128	
	1GT5-2A	0.017	3314	2.46	115	
	1GT5-2B		3151	5.64	327	

Le grenillage de l'interface N/B (BCMC):

→ retarde l'amorçage du décollement (indicateur n°1)

→ Pas d'effets notables observés sur la propagation de la fissure (indicateur n°2)

# Plan de la présentation

## ☐ Essai fendage par coin WST

- ☐ Adaptation du WST
- ☐ Instrumentation
- ☐ Méthodes d'analyse

## ☐ Résultats des essais et discussions

- ☐ Interface Béton/Enrobé (0.7 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats
- ☐ Interface Enrobé/ Grille/ Enrobé (2 mm/min)
  - ☐ Observations & Résultats

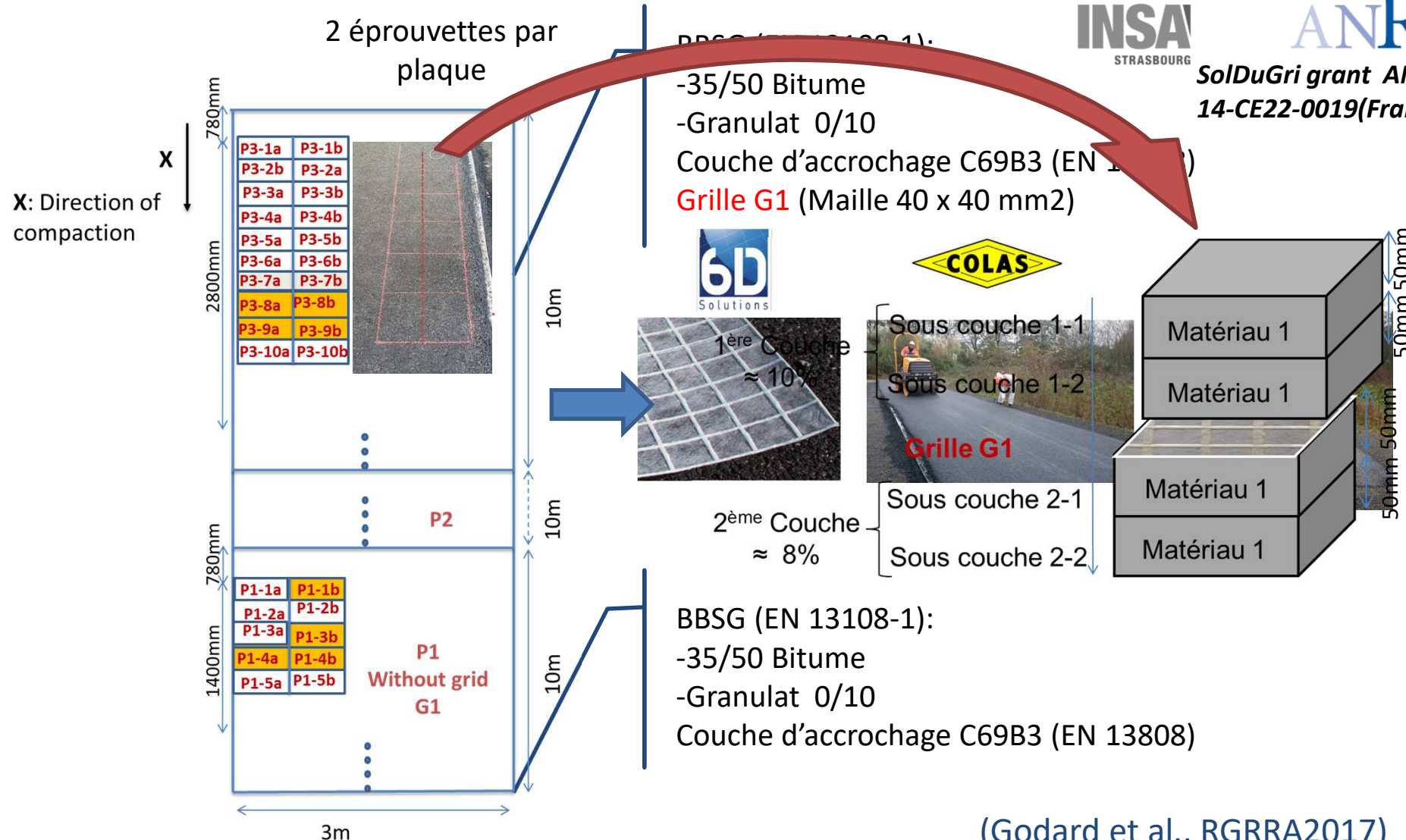
## ☐ Conclusion et perspectives

# Interface enrobé/grille/enrobé (20°C; 2mm/min)

INSA  
STRASBOURG

ANR

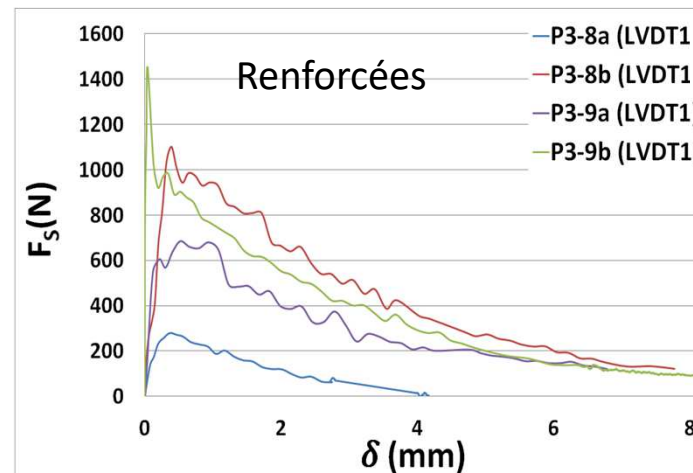
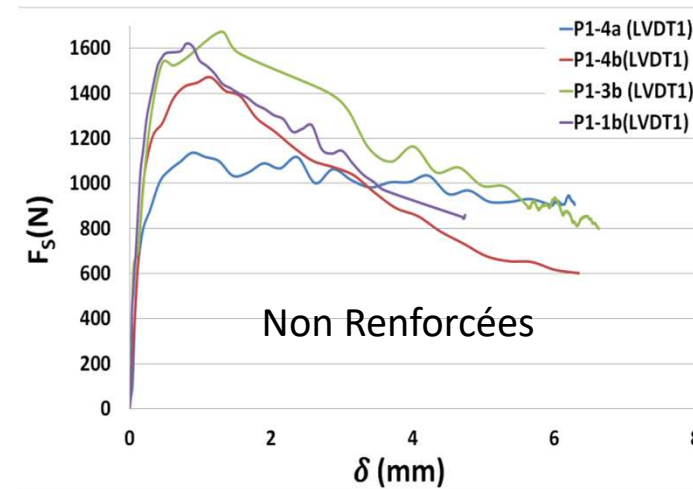
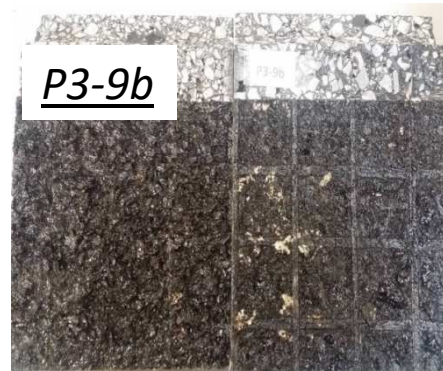
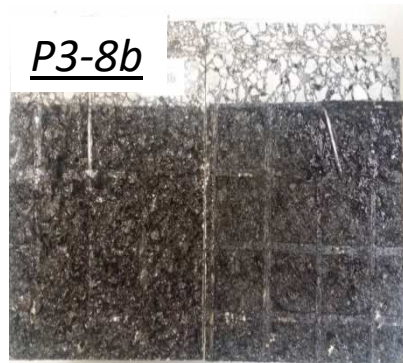
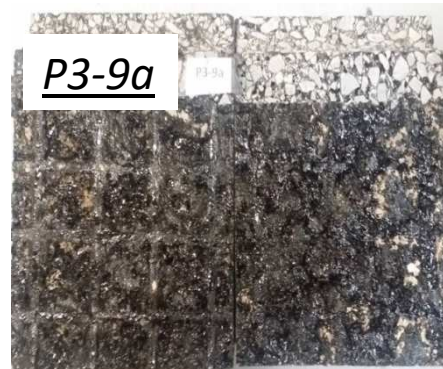
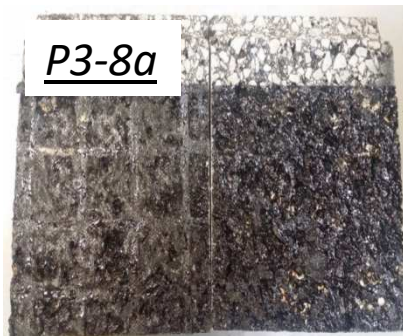
SolDuGri grant ANR-14-CE22-0019(France)





# Observations & Résultats (20°C; 2mm/mn)

## Eprouvettes renforcées G1 (4 tests)



Courbes  $F_s$ - $\delta_{LVDT1}$  (Gharbi et al., BCRRA 2017)

## Observations & Résultats (20°C; 2mm/min)

<i>Specimens</i>		$S_F$ ( $m^2$ )	$F_S^{max}$ ① (N)	$S_A$ (N.m)	$S_{ADIC}$ (N.m)	$G_F$ (J/m <sup>2</sup> )	$G_{FDIC}$ ② (J/m <sup>2</sup> )
Sans G1	P1-1b	0.013	1619	5.67	5.34	445	419
	P1-3b	0.014	1673	8.07	6.8	594	501
	P1-4a	0.017	1136	6.23	6.22	361	360
	P1-4b	0.011	1471	6.26	6.27	596	597
			$F_S^{max_{average}} \sim 1474$		$G_{Faverage} \sim 499$		$\sim 469$
Avec G1	P3-8a	0.022	279	0.50	0.49	23	22
	P3-8b	0.022	1101	3.46	3.36	161	166
	P3-9a	0.021	684	2.17		102	
	P3-9b	0.021	1452	3.13	3.08	146	144
			$F_S^{max_{average}} \sim 879$		$G_{Faverage} \sim 108$		$\sim 111$

→ Confirmation des performances du collage réduit avec l'utilisation de grilles ( indicateurs 1 & 2)

## Conclusions

- ✓ WST adapté aux éprouvettes de chantier: OK essais (mode I) statiques à 20°C
- ✓ Analyse plus fine avec les techniques DIC → longueur & ouverture de la fissure

\*\*\*\*

- ✓ Essais interface Béton/ Enrobé:  $V=0.7$  mm/min (Gharbi et al., CFM & EATA2017)
  - Traitement de l'interface →  $F_{smax}$  & Résistance au décollement



(Pouteau et al., Istanbul2004) (Chabot et al., CP2008)

(Gharbi et al, CFM2017 & EATA2017)



Confirmation de l'effet retardateur du grenillage sur l'initiation de décollements potentiels



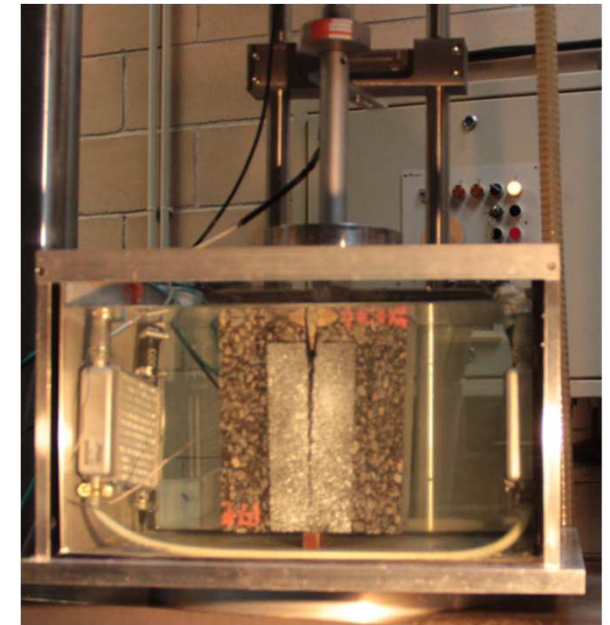
# Conclusions

## ✓ Essai WST sur Interface Enrobé/ Grille / Enrobé : $V=2\text{mm/min}$

- Planche 2015 (Gharbi et al., BCRRA2017)
  - Grille → réduit les performances du collage entre couches (indicateur 1)
  - Dispersion sur 4 essais → ~ **10 éprouvettes par configuration**

## ❖ Essais planche 2016 (> 80 essais réalisés en 2017)

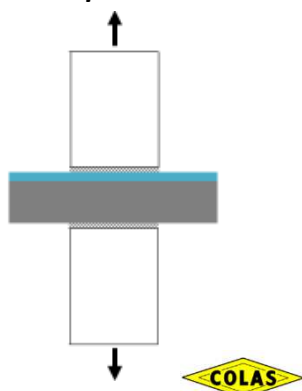
- 3 types d'interfaces: non renforcées; renforcées avec grilles → Cidex 100 KN ( Godard et al., RGRRA 2017)
  - une nouvelle grille
- 20°C
- 2 T°C ≠ (7 et 20°C) sous eau



## Perspectives

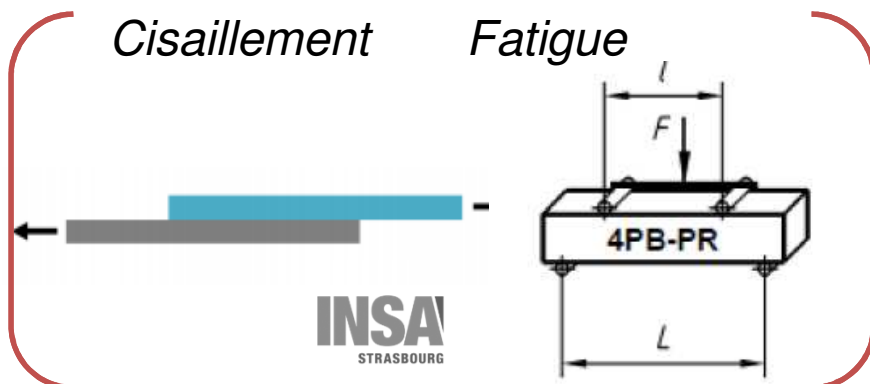
- ❑ Comparaison essais WST avec ceux du projet SolDuGri (Godard et al., RGRRA 2017)

Traction  $\phi 100\text{mm}$   
prEN 12697- 48  
Force imposée 200N/s



Cisaillement

Fatigue



Essais accélérés



# Merci de votre attention

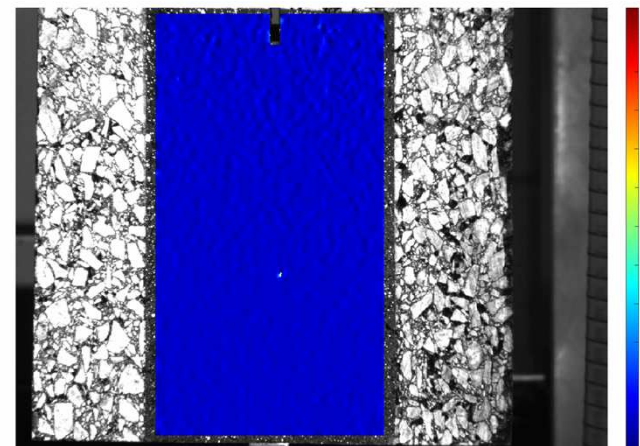
**Maissa GHARBI**

Maissa.gharbi@ifsttar.fr

LAMES/ MAST/ IFSTTAR

Allée des pont et chaussées- CS4- 44344 Bouguenais cedex

+33(0)2 40 84 59 29



UNIVERSITE  
BRETAGNE SCIENCES  
LOIRE POUR L'INGENIEUR

ANR

SolDuGri grant ANR-14-  
CE22-0019(France)