

Développement de méthodes radar d'aide au diagnostic et à la décision pour le suivi de décollements entre couches de chaussées



V. Baltazart
X Dérobert
S. Todkar
J-M. Simonin



C. Le Bastard
A. Ihamouten
B. Tankeu
J-N. Gaudin



Ch. Bourlier
L. Ferro-Famil



N. Pinel
M. Songolo

Motivations

The structural design of the pavement relies on the mechanical behaviour of the interlayer interfaces

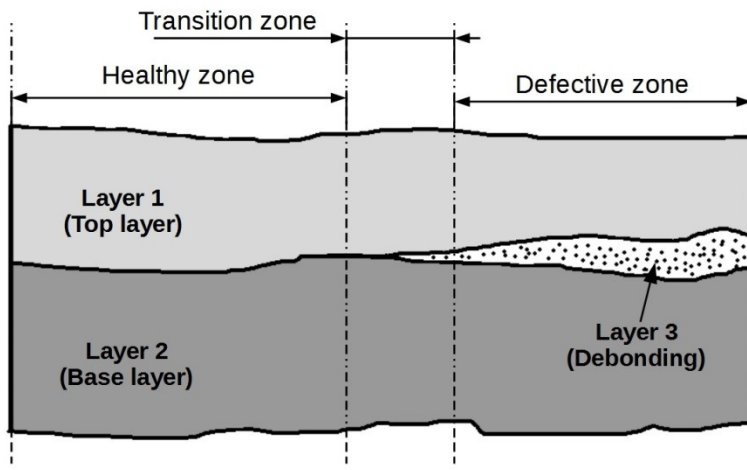
The destructive coring technique of the pavement is the conventional method to assess/control the interlayer interfaces.

Needs for some alternative non destructive methods (NDT&E) to probe the near-subsurface and to perform debonding survey.



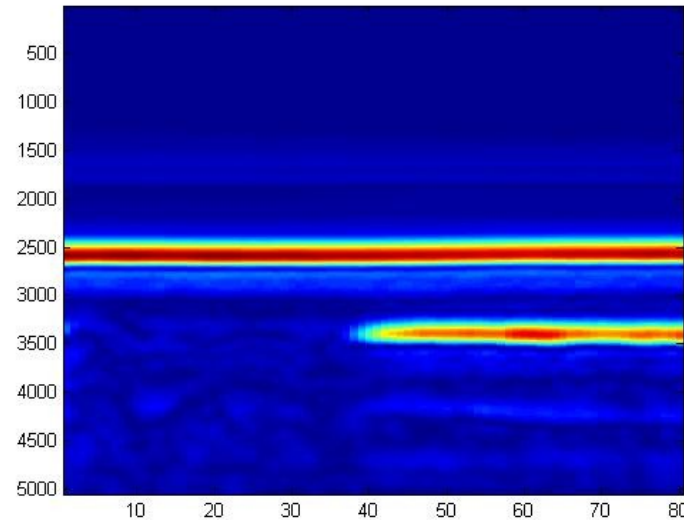
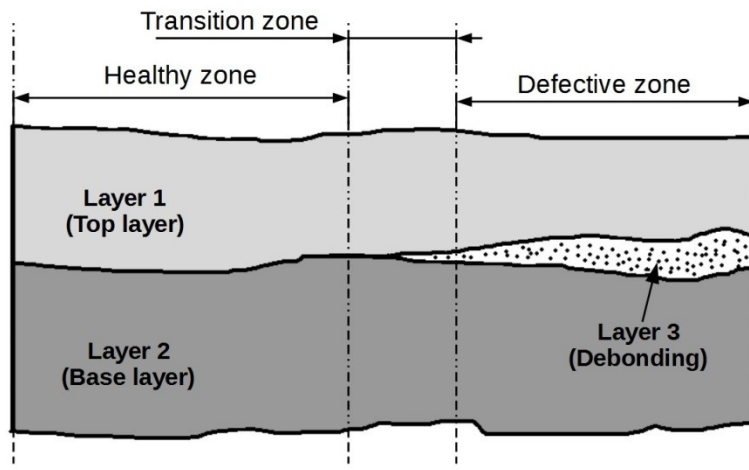
Problématique

Détection et caractérisation
des décollements entre couches (disbonding)
par méthodes radar &
prévention des remontées de fissures (reflective cracks)



Problématique

Détection et caractérisation
des décollements entre couches (disbonding)
par méthodes radar &
prévention des remontées de fissures (reflective cracks)



Radargramme RSF (Ifsttar) – Carousel - Geotextile

Projets 2012-18

- Partenariat
 - Ifsttar : Laboratoires Gers/GeoEND, Mast/Lames, Cosys/S2I
 - Régionaux : Cerema/ENDSUM (Angers, Rouen), IETR
- Projets collaboratifs
 - Ifsttar-Cerema : ORSI Fissures & Ecodem (liens effacés)
 - Internationaux :
 - RILEM TC 241- *Mechanisms of cracking and debonding in asphalt and composite pavements (MCD)* (www.rilem.org)
 - COST TU 1208 *Civil engineering applications of GPR* (<http://www.gpradar.eu/>)
- Formation:
 - PhD : S. Todkar*, B. Guan*, M. Sun #, J. Ping #
 - Stages : J. Peng, S. Todkar, S. Ma
- Publications
 - Journaux ~ 6 ; Congrès ~ 6

Fatigue Carousel

- Performing accelerated tests of pavement material & structures

Used as a debonding test-site

- Ongoing experiment > 2012

- Survey of artificial debondings:

sand, geotextile, coating-less interfaces

- NDT Data collection at [0: 100:300] kcycles

- NDT&E tested techniques

- Reflected waves : Radar, US / UPE

- Low-frequency structural techniques : Colibri, HWD



Illustration de mesures Radar



GPR 2.6 GHz

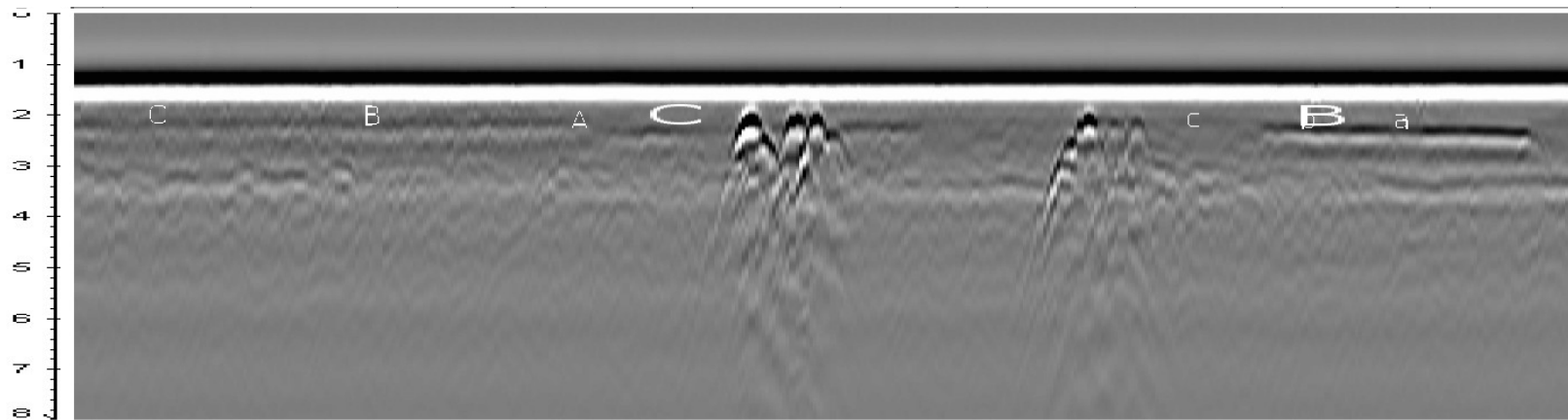
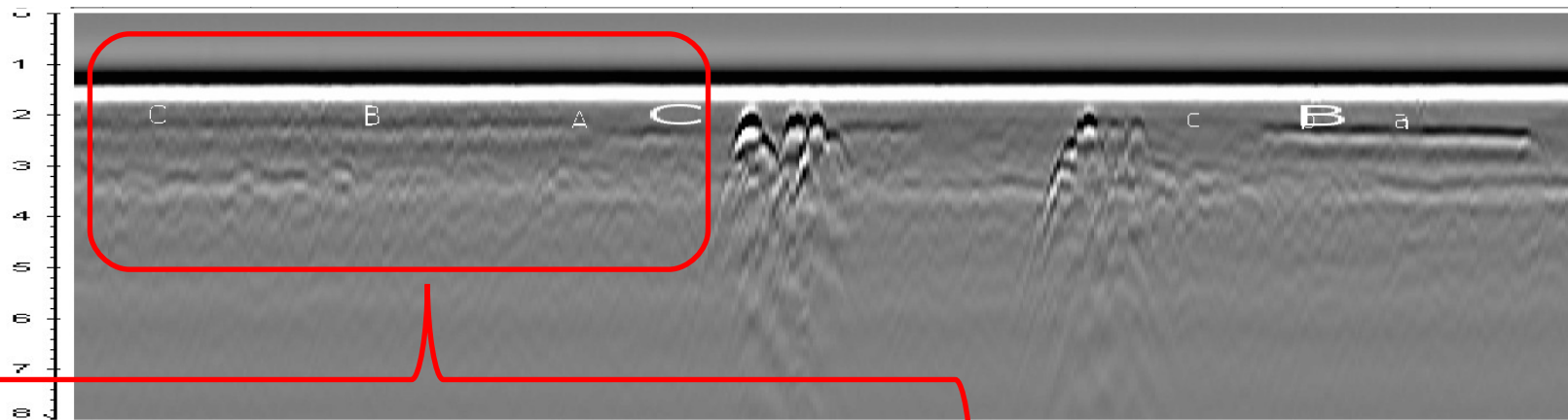


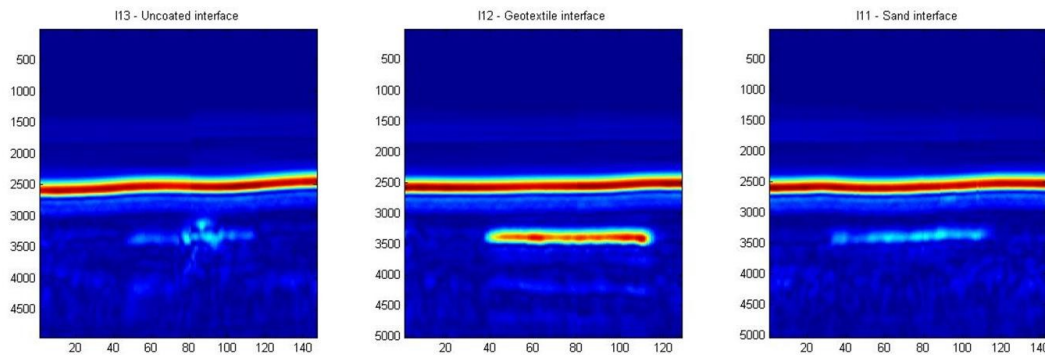
Illustration de mesures Radar



GPR 2.6 GHz



SFR 4.5 GHz



Projets en cours (2019-22)

- DGITM (2018-19) :
 - Suivi de décollement de couches de chaussées sous trafic contrôlé par techniques d'END
 - mesures GPR et RSF
- FEREC RSF-CINC (2018-19) :
 - Détection d'interfaces de chaussées dégradées par technique radar
 - mesures RSF / instrumentation / traitement & inversion
- ANR ACIMP (2019-22) :
 - Connaissance des milieux complexes (de chaussée) composés de fissures et inversion multi-paramètres
 - modélisation / traitement / mesures GPR, RSF, GB-SAR



Projet ACIMP



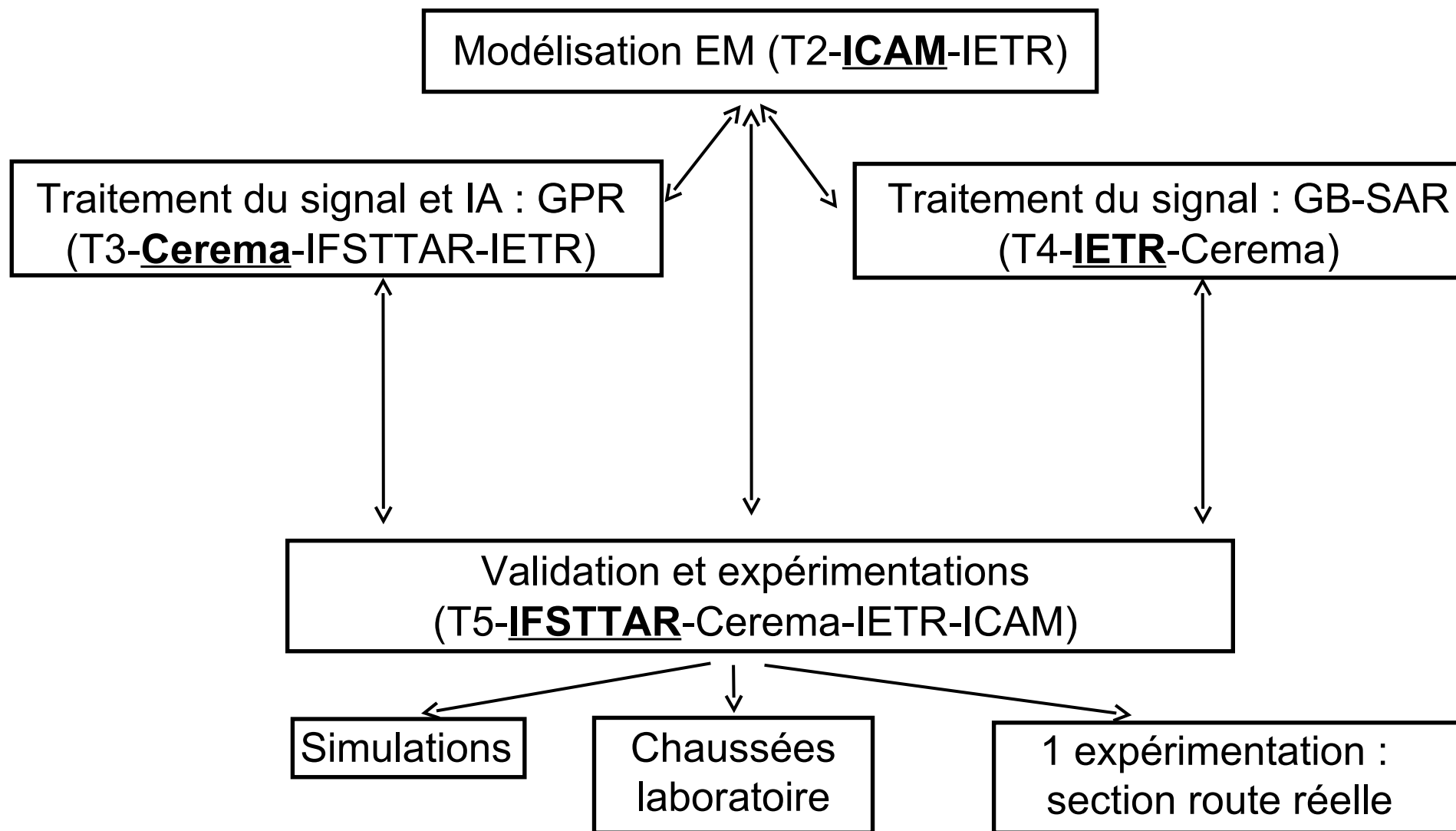
- **Amélioration de la Connaissance de milieux complexes composés de fissures et Inversion MultiParamètres**
- Porteur du projet : C . Le Bastard, Cerema
- Partenaires : Cerema, IETR, IFSTTAR, ICAM

- Début : 1/01/2019 ; durée : 48 mois
- TRL initial (1-2) ; TRL visé (4)
- Budget total (1 393Keuros) et aide accordée (639 Keuros)

Objectifs

- Focus sur les méthodes NDT&E Radar vs. décollement
 - Spectre de fréquences Ultra large bande
 - Simulation de la diffraction dans un milieu stratifié avec interfaces rugueuses et fissures
 - Modélisation du signal -> méthodes de traitement
- **Extension au GB-SAR**
 - Acquisition et traitement
- **Développement d'outils de traitement pour GPR & GB-SAR**
 - **2 étapes de traitement** : Détection des zones de défauts / Caractérisation du défaut (permittivité, épaisseur)
 - **Outils opérationnels d'aide à la décision** : pour les politiques d'entretien et de gestion des chaussées

Organisation



Organisation

Modélisation EM (T2-**ICAM**-IETR)

PhD (ICAM) M. Sangolo

Ch. Bourlier, N. Pinel

Traitement du signal et IA : GPR
(T3-**Cerema**-IFSTTAR-IETR)

PhD (Cerema) B. Tankeu,
Post-doc (Ifsttar) S. Todkar

V. Baltazart, Yide Wang, A.
Ihamouten

Traitement du signal : GB-SAR
(T4-**IETR**-Cerema)

PhD IETR à recruter

L. Ferro-Famil

Validation et expérimentations
(T5-**IFSTTAR**-Cerema-IETR-ICAM)

X. Dérobert,
V. Baltazart,
J-M. Simonin

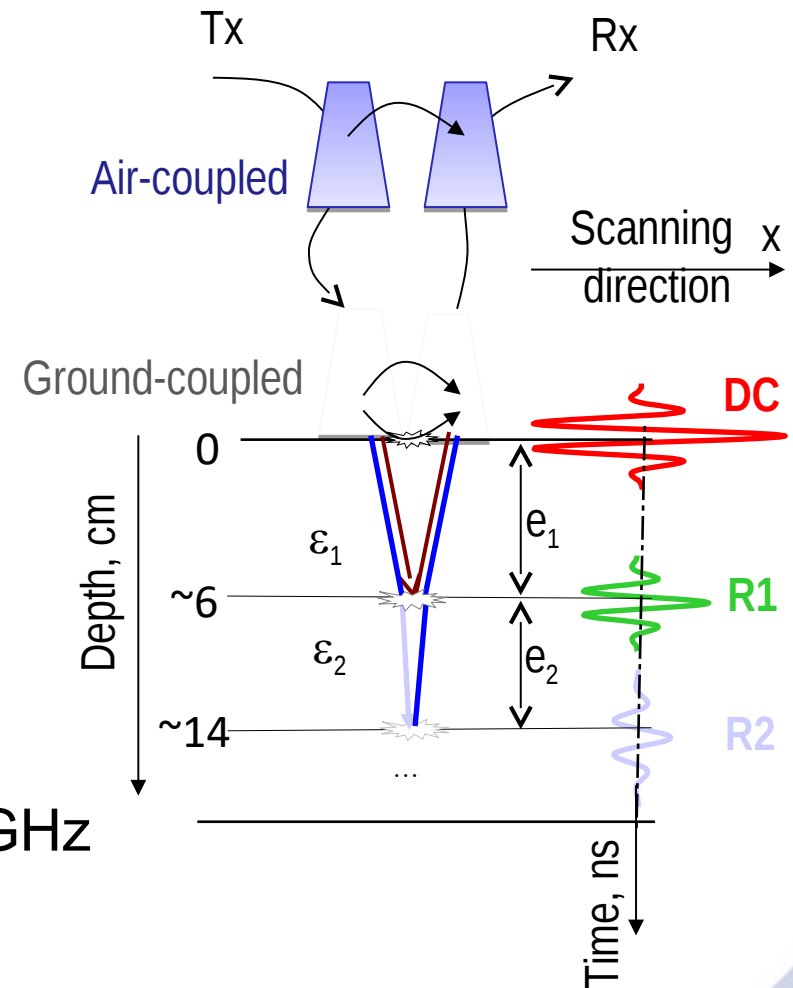
Simulations

Chaussées
laboratoire

1 expérimentation :
section route réelle

Data collection (WP5)

- Compléter la base de données
 - Couvrir toute la durée de vie de la structure de chaussée
- Plusieurs technologies et configurations radar
 - Ground-coupled / air-coupled
 - Impulsionnelle / sauts de fréquences
 - Incidence verticale / oblique
 - Fréquences centrales : 1.5, 2.6, 4.5 GHz



Instrumentation radar

- Radar GSSI Ground coupled (XD, JMS)
 - Repositionnement défauts (7/06 à 1,5 GHz)
 - Mesures GSSI à 2,6 GHz

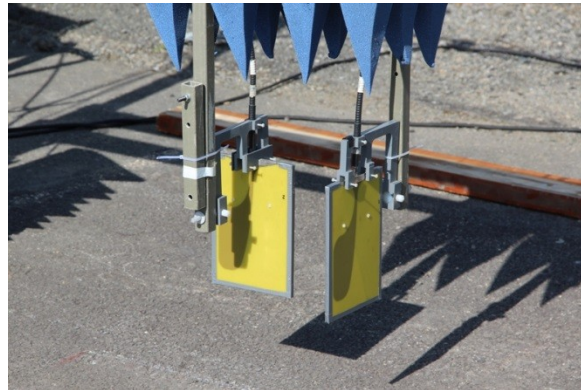


Instrumentation radar

- Radar GSSI Ground coupled (XD, JMS)
 - Repositionnement défauts (7/06 à 1,5 GHz)
 - Mesures GSSI à 2,6 GHz

- Radar SFR

- Ifsttar, S12
- Cerema, S11

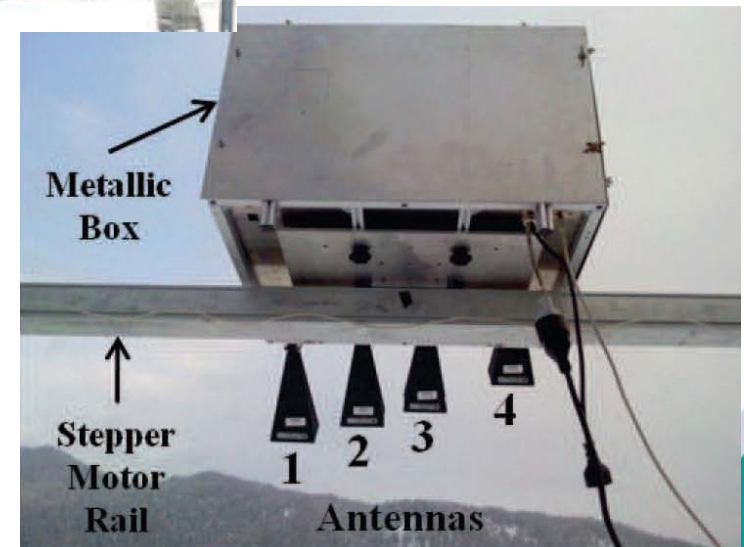


Instrumentation radar

- Radar GSSI Ground
- Repositionnement
- Mesures GSSI

- Radar SFR
 - Ifsttar, S12
 - Cerema, S11

- GB-SAR (IETR)
 - bande C



Projets DGITM & FERREC

- **Mieux caractériser les interfaces**
 - Radar très hautes fréquences (à sauts de fréquence)
 - Traitement & inversion num. signal radar

Projets DGITM & FERREC

- Mieux caractériser les interfaces
 - Radar très hautes fréquences (à sauts de fréquence)
 - Traitement & inversion num. signal radar
- Mesures
 - Compléter ACIMP (WP5)
par des acquisitions 3D radar

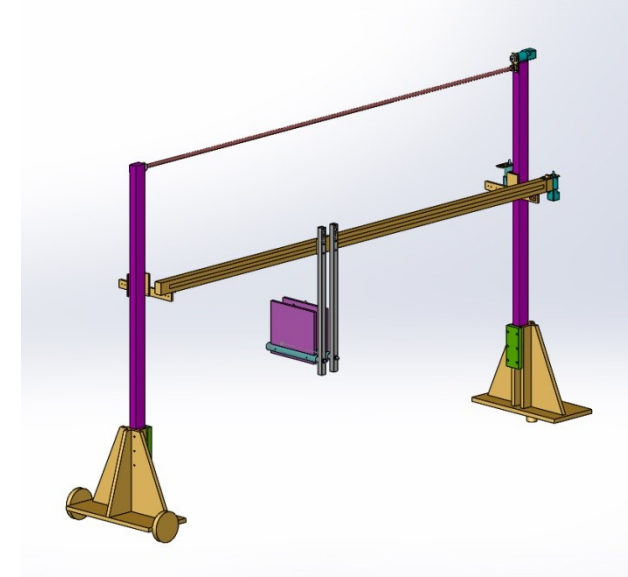


Projets DGITM & FERREC

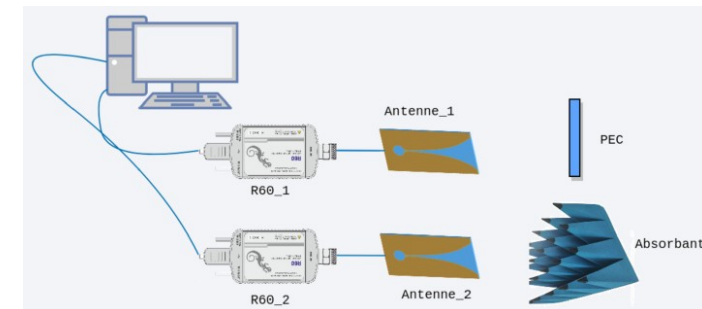
- **Mieux caractériser les interfaces**
 - Radar très hautes fréquences (à sauts de fréquence)
 - Traitement & inversion num. signal radar
- **Mesures**
 - Compléter ACIMP (WP5)
par des acquisitions 3D radar

Projets DGITM & FERREC

- Mieux caractériser les interfaces
- Mesures
- Instrumentation
 - Conception Banc EM de terrain (Ifsttar)
 - Technique RSF portable & bas coût (Cerema)
Analyseur de réseau => Reflectomètre vectoriel
Possibilité réseau d'antennes



Instrumentation

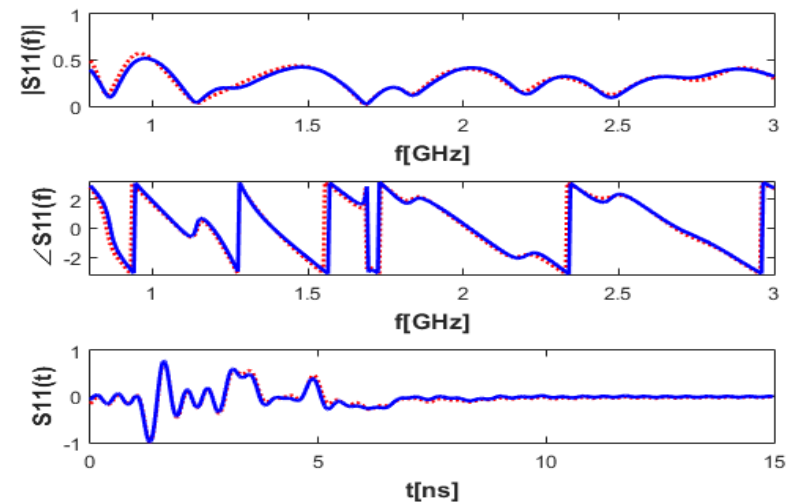
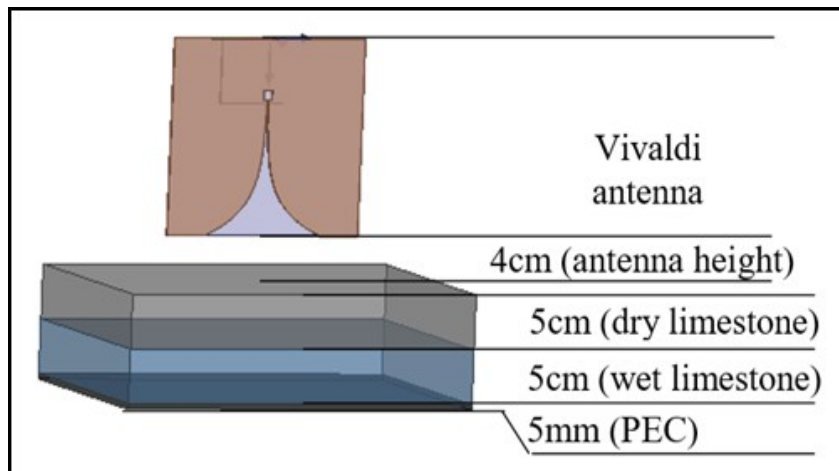


Projets DGITM & FERREC

- Mieux caractériser les interfaces
- Mesures
- Instrumentation
- Traitement & inversion à offset variable (CMP/WARR)

Inversion forme d'onde

- Info. Quantitatives (épaisseurs, permittivité)
- Intégration décollement (3^{ème} couche) dans inversion
- Adaptation travaux thèse (B. Guan, janv. 2018)



Valorisation des résultats

- Revues internationales à comité de lecture pour les communautés
 - Diffusion/propagation
 - Radar/téledétection
 - Traitement du signal
 - Chaussée
- Codes des méthodes de modélisation & de traitement
- Rendre accessible les base de données simulées et expérimentales

Contacts

WP1: Management & Gestion

jean-noel.gaudin@cerema.fr & xavier.derobert@ifsttar.fr

WP2 : Modèle EM interfaces rugueuses & fissures

christophe.bourlier@ietr.fr, nicolas.pinel@icam.fr

WP3: GPR et SFR data processing

amine.ihamouten@cerema.fr, vincent.baltazart@ifsttar.fr & yide.wang@univ-nantes.fr

WP4: GB-SAR technique

laurent.ferro-famil@ietr.fr

WP5: Data collection

vincent.baltazart@ifsttar.fr, xavier.derobert@ifsttar.fr

Merci de votre attention



UNIVERSITÉ DE NANTES



THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE NANTES
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 601
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Signal, Image et Vision*

Par

Shreedhar Savant TODKAR

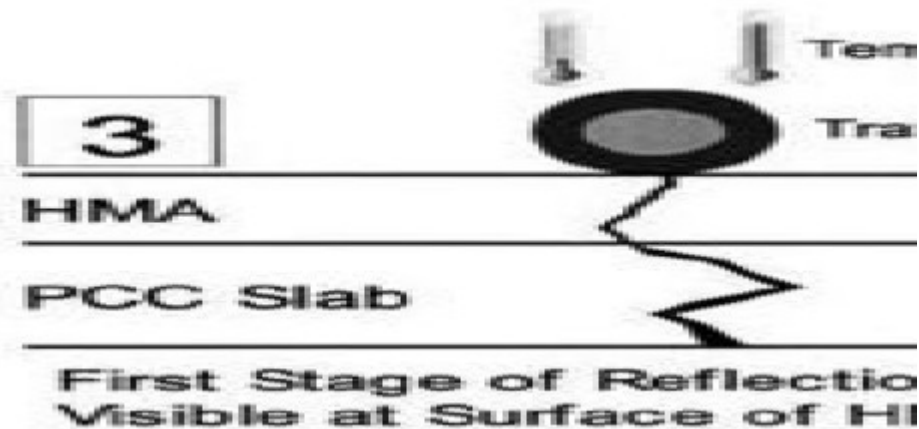
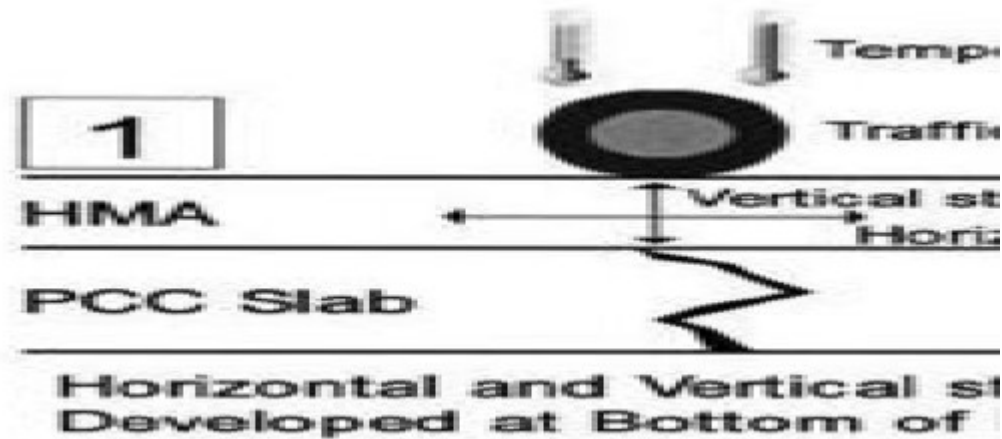
**Suivi de l'endommagement des structures de chaussées
par technique radar Ultra-large bande**

Application to debonding detection

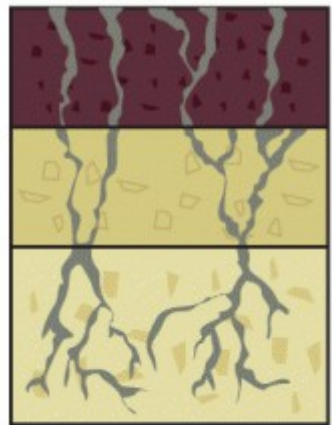
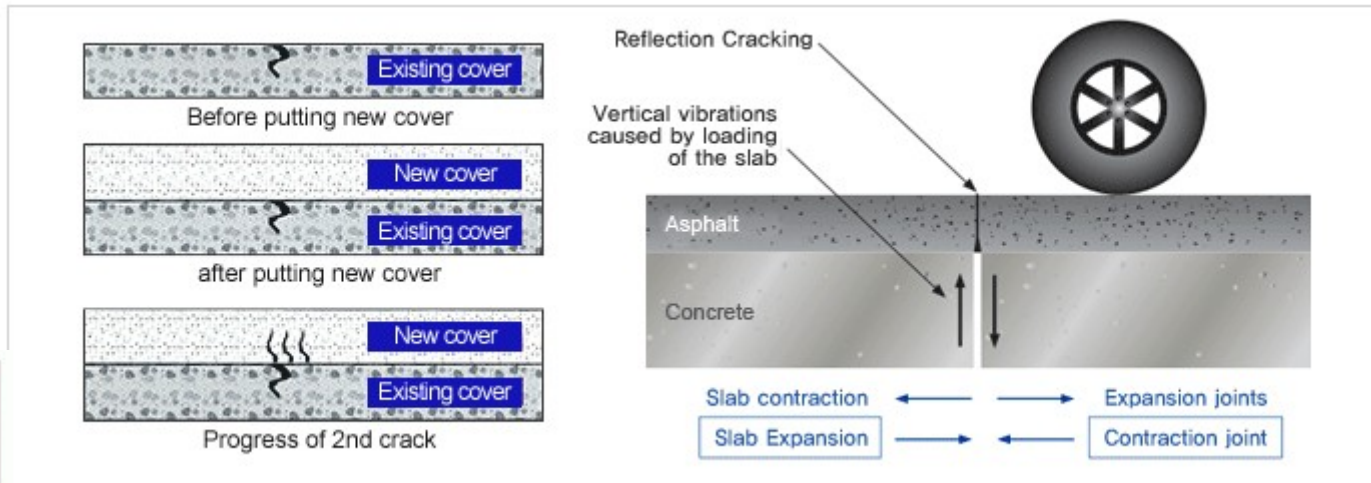
Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 27 Novembre 2019

Unité de recherche : Évaluation Non-Destructive des Structures et des Matériaux (Cerema)
Département Composants et Systèmes - Laboratoire Structure et Instrumentation Intégrée
(IFSTTAR)

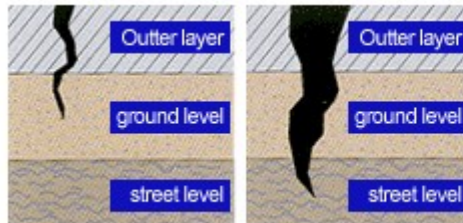
Merci de votre attention



Merci de votre attention



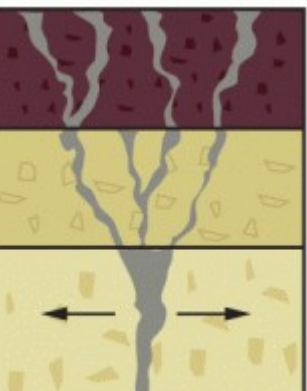
Cracks reflect to surface



Cracks happen in asphalt road because of temperature change. When temperature hardened, surface pressure of asphalt road increases in vertical direction. Cracks in vertical direction

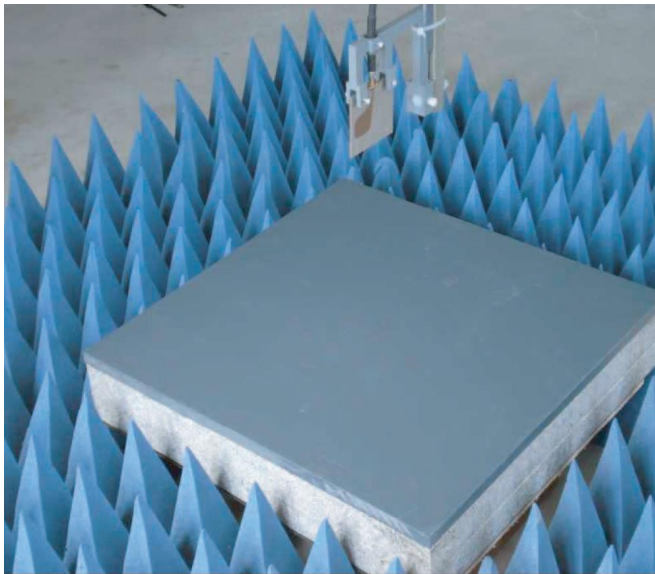


www.roadseal.co.kr/english/SubPage.html?CID=page



Super-resolution data processing

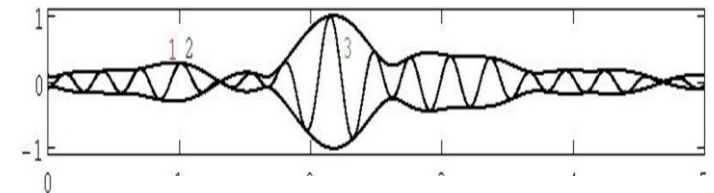
Testing data processing in laboratory with UWB antennas and SFR over roughless material slabs (PVC + granite)



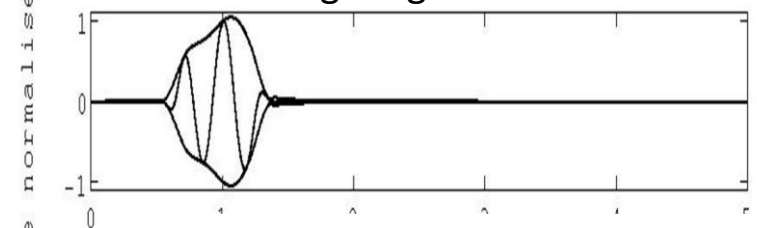
Model-based signal processing (e.g., MUSIC) provides better time resolution at medium to high SNR (x 10) and affords the measurement of small thickness materials (After C. Le Bastar 2007)

Data processing steps :

a. Raw data @ 2,7 GHz



b. Time gating on PVC slab



c. Pseudo-spectrum

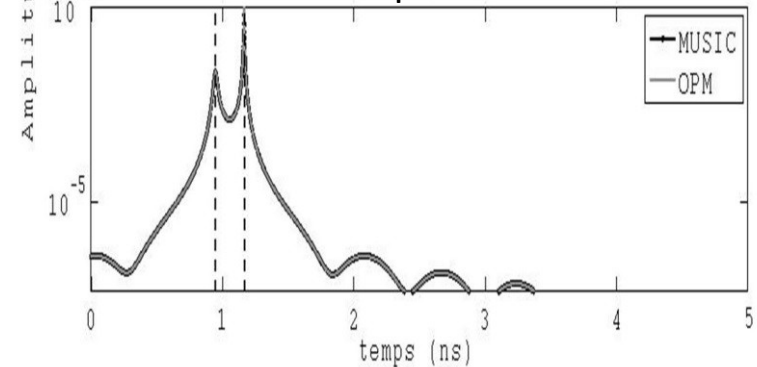
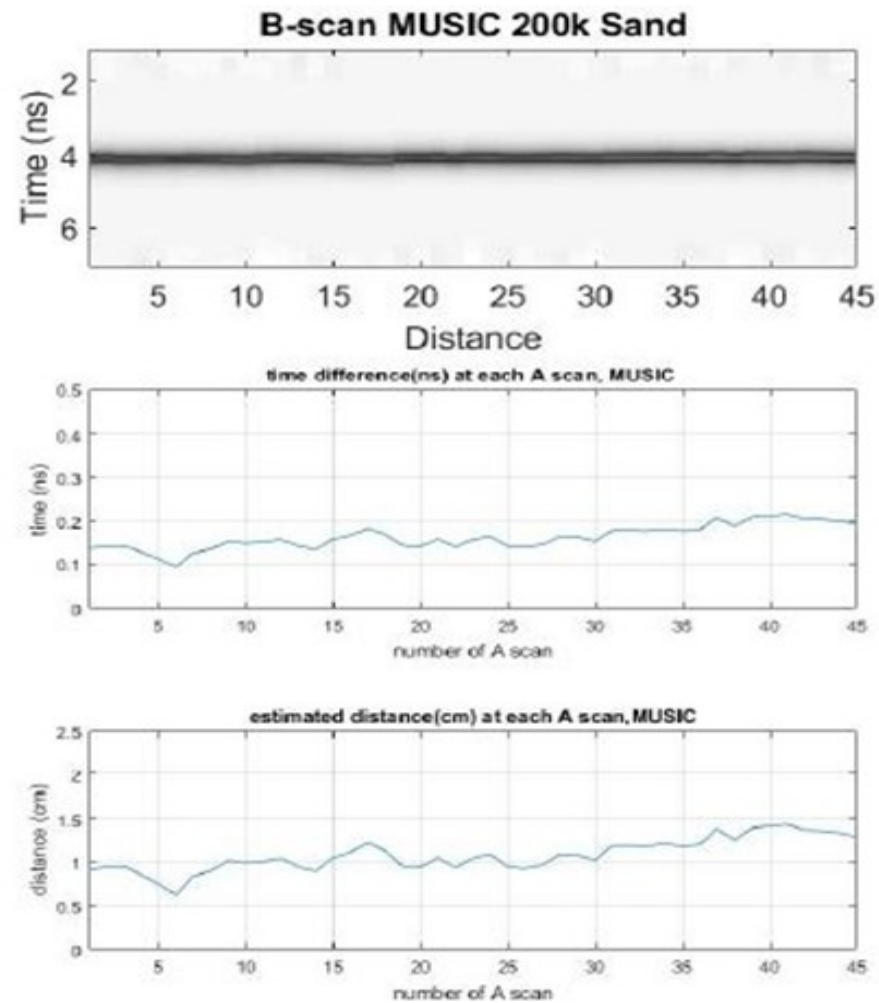
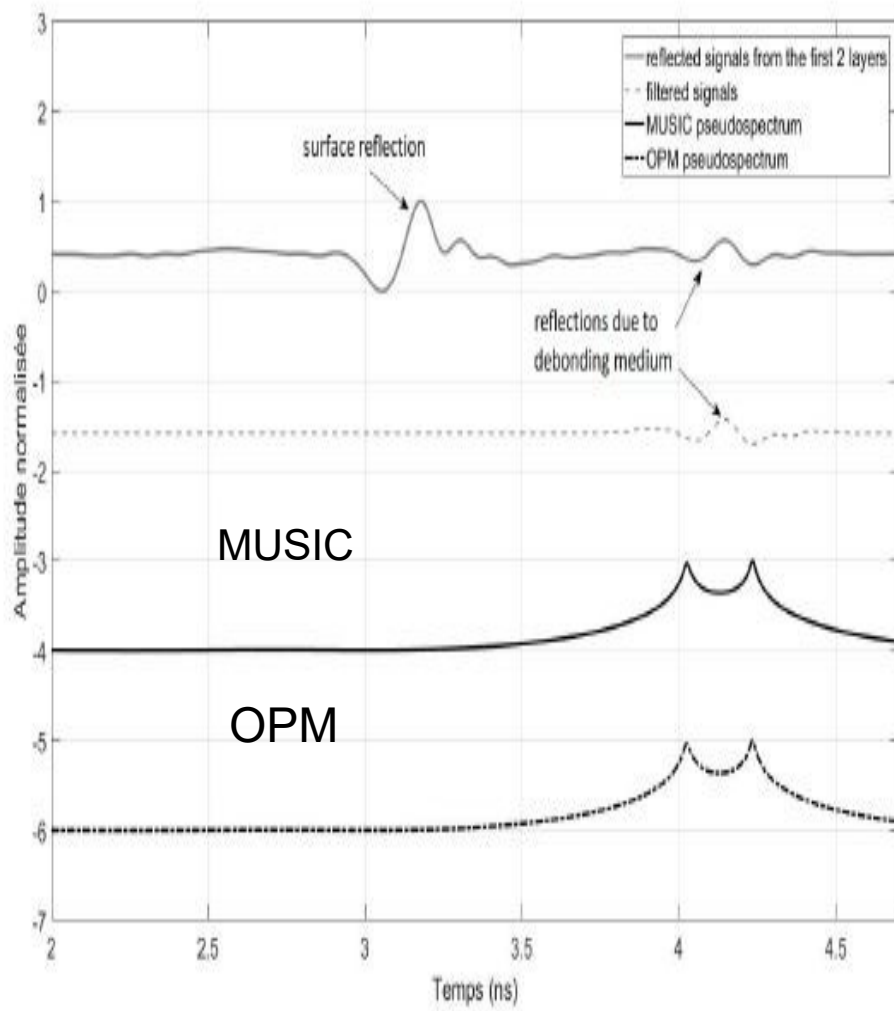
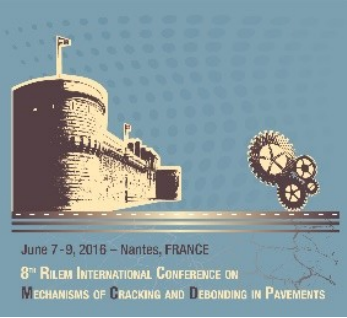


Illustration traitement HR sur données SFR du carousel





Performance for measuring the debonding thickness on simulated data

Methods	$B \times \Delta\tau$	$\Delta z / \lambda_{\text{mat}}^{(\#)}$	Thickness	Frequency
Conventional (FFT-based)	1	$\geq 0,5$	≥ 14 mm	5 GHz ⁽¹⁾
Super time resolution ^(*)	$\geq 0,1$	$\geq 0,05$	≥ 2 mm	5 GHz ⁽¹⁾
SVM/SVR	$\geq 0,3$	$\geq 0,15$	~ 3 mm	5 GHz ⁽¹⁾
Time-Frequency analysis	$\leq 1,2$	$\leq 0,6$	≤ 16 mm	5 GHz ⁽¹⁾

(#) $\Delta z / \lambda_{\text{mat}} \sim \frac{1}{2} B \times \Delta\tau$ (with $B \sim f_{\text{center}}$)

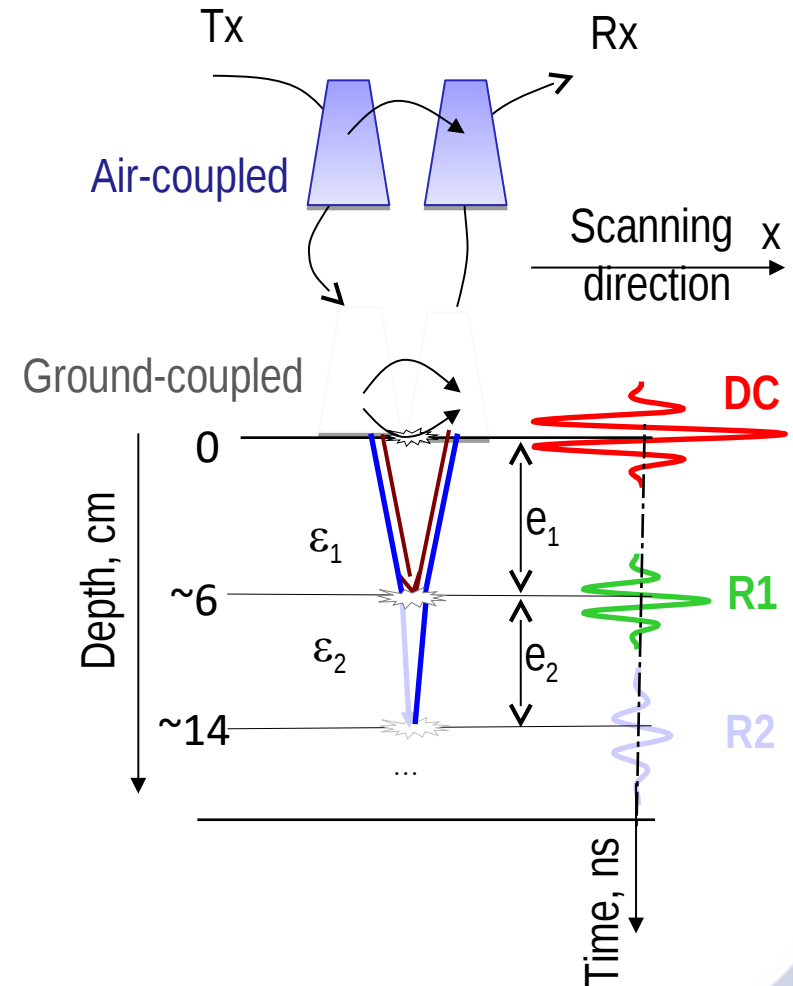
(1) $\lambda_{\text{mat}} = 2,7$ cm ($\epsilon_{\text{mat}} = 5$)

(*) root-MUSIC with SNR > 20 dB

Assumptions for simulations : roughless interfaces, layered and homogeneous materials, multiple scattering neglected

NDT technique: Radar

- Wave scattering
from dielectric contrast within
the subsurface
- Radar configuration for
fast data collection
 - Air-coupled
 - Quasi-monostatic



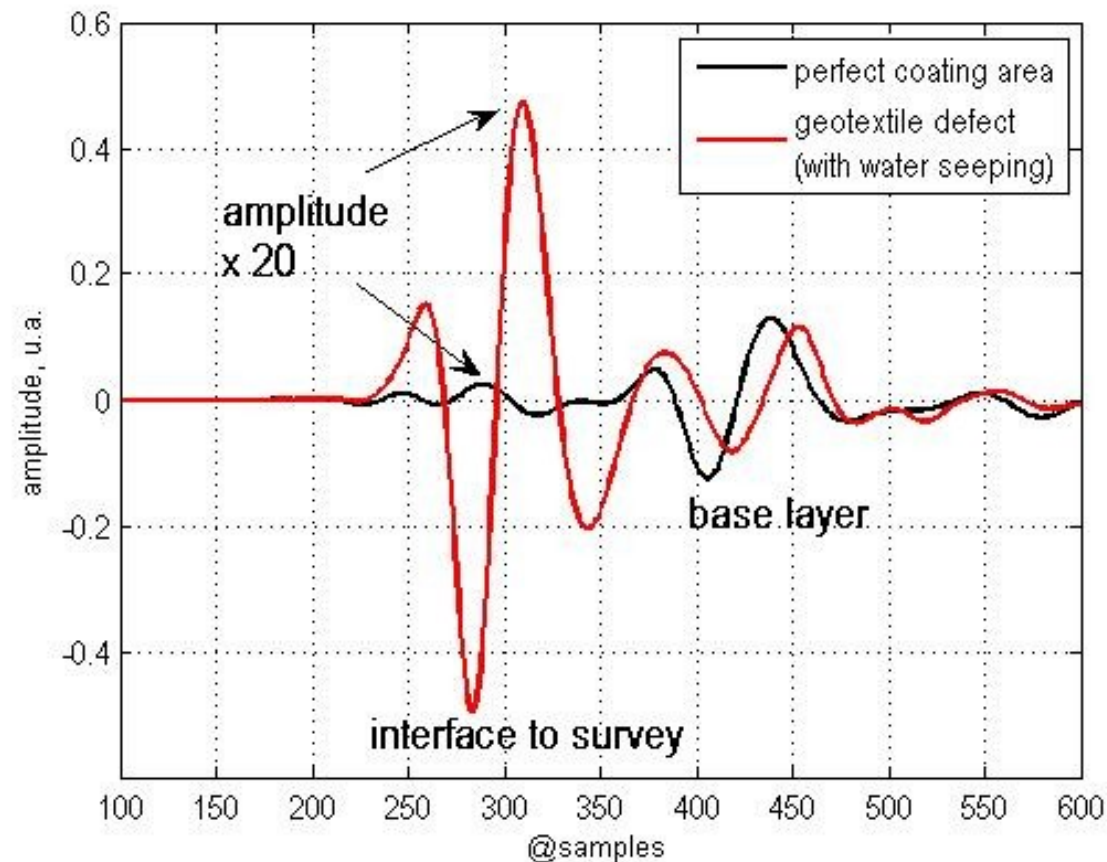
NDT technique: Radar

- Wave scattering
 - On dielectric contrast within the subsurface
- Radar configuration for fast data collection
 - Air-coupled
 - Quasi-monostatic



2.2 Radar data (1/3)

- A-scan
 - Time data
- Perfect coating
 - Small echo amplitude
(assuming small dielectric contrast within the layered pavement structure)
- Debonding area:
 - Echo with stronger amplitude and larger time spread
 - Larger time delay on deeper echoes



2.2 Radar data (2/3)

B-scan

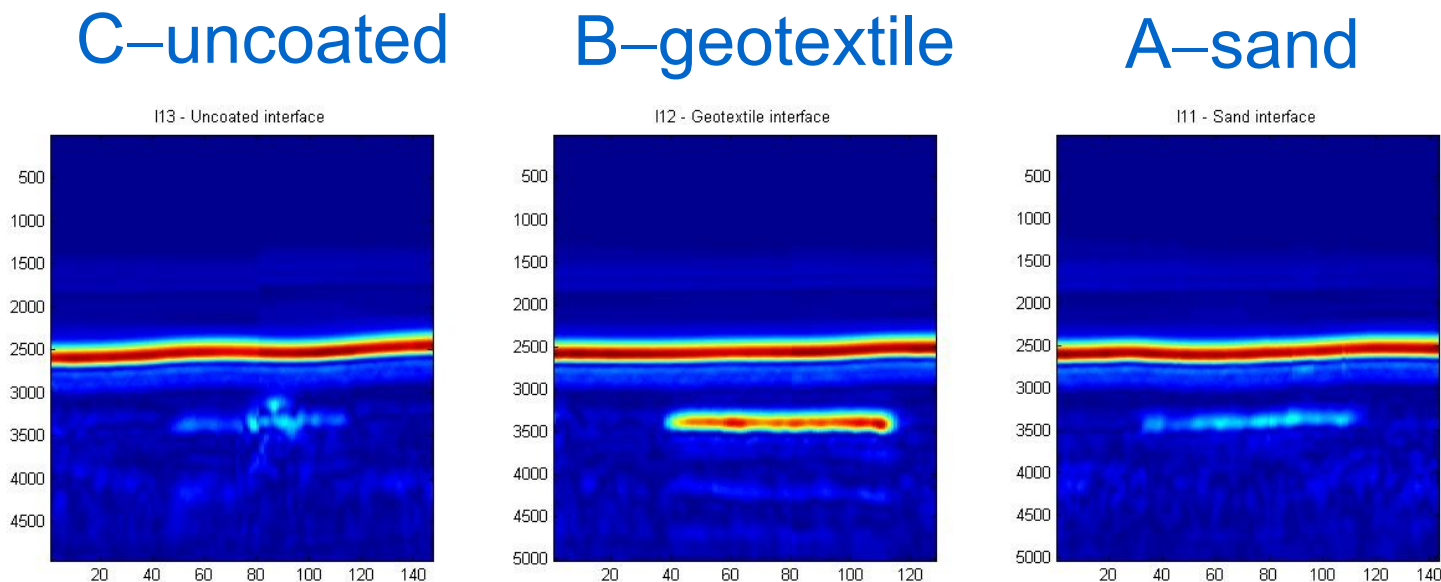
Collection of A-scan data along the scanning direction

Conventional technique for debonding

Spatial variations of the echo amplitude along the scanning direction

Illustration:

Geotextile > sand > uncoated > healthy interface



Instrumentation radar

- Radar GSSI Ground coupled (XD, JMS)
 - Repositionnement défauts (7/06 à 1,
 - Mesures GSSI à 2,6 GHz
- Radar SFR
 - Ifsttar, S12
 - Cerema, S11
- GB-SAR (IETR)
 - bande C
- 3D radar (C-scan)

