

# Élaboration d'un dispositif de mesure d'impédance acoustique

Delphine Jacqueline (Cerema NC)

Gaëlle Benoit (CD76)

Guillaume Dubois (Cerema NC)

Orsi Ecodem

Date : 11/05/2017

# Sommaire

- Contexte
- Objectifs
- Dispositif et théorie des ondes planes
- Premiers essais → protocole expérimental
- Amélioration du dispositif
- Traitement des données
- Quelques résultats
- Conclusions et perspectives

Directive de 2002/49/CE :

Evaluer l'exposition au bruit des populations vis-à-vis de la circulation routière

Obligation des exploitants d'avoir des actions sur les zones de bruit identifiées des PPBE

→ Intérêt de réduire les nuisances sonores à la source de la circulation routière, notamment par des solutions innovantes,

→ Solutions par les revêtements de chaussée poreux pour absorber les ondes acoustiques

→ Problème d'évolution rapide de la microstructure suite au colmatage

→ Caractérisation de l'absorption acoustique en prélevant des carottes + mesure en labo (norme 10534-2)



→ Besoin de recherche d'une méthode non destructive rapide permettant de prévoir la maintenance des infrastructures pour les exploitants → optimisation interventions et prévisions budgétaires

# Travaux



Thèse de G. Benoit en 2013 :

Caractérisation des propriétés acoustiques de revêtements poreux par mesures in situ

Application au colmatage des chaussées.

Mesure de l'impédance acoustique de surface par la méthode du doublet microphonique à incidence normale

2013 - Comparaison de mesures dans tube de kurt sur une mousse polymère et BBDr avec modèle d'inversion permettant d'estimer 4 paramètres (modèle de Zwicker et Kosten étendu).

2015 - Comparaison de cette méthode innovante à la méthode de doublet microphonique à incidence rasante sur matériau naturel (alimentation modèle)

→ opération Plume

Comparaison des mesures d'impédance acoustique avec un modèle de matériaux poreux simplifié à deux paramètres (modèle de Miki, 1990)

→ faisabilité de la méthode sur matériaux de chaussée,

→ difficulté d'obtenir des résultats fiables sur matériaux peu absorbants

ex : béton → bruit car trop réfléchissant

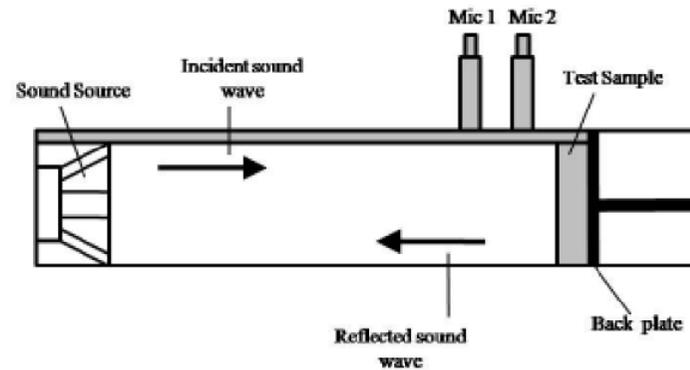
# Objectifs de ce travail



Poursuite des travaux de Mme Benoit (détachement au CD76) au CER/CECP de Rouen depuis 2015

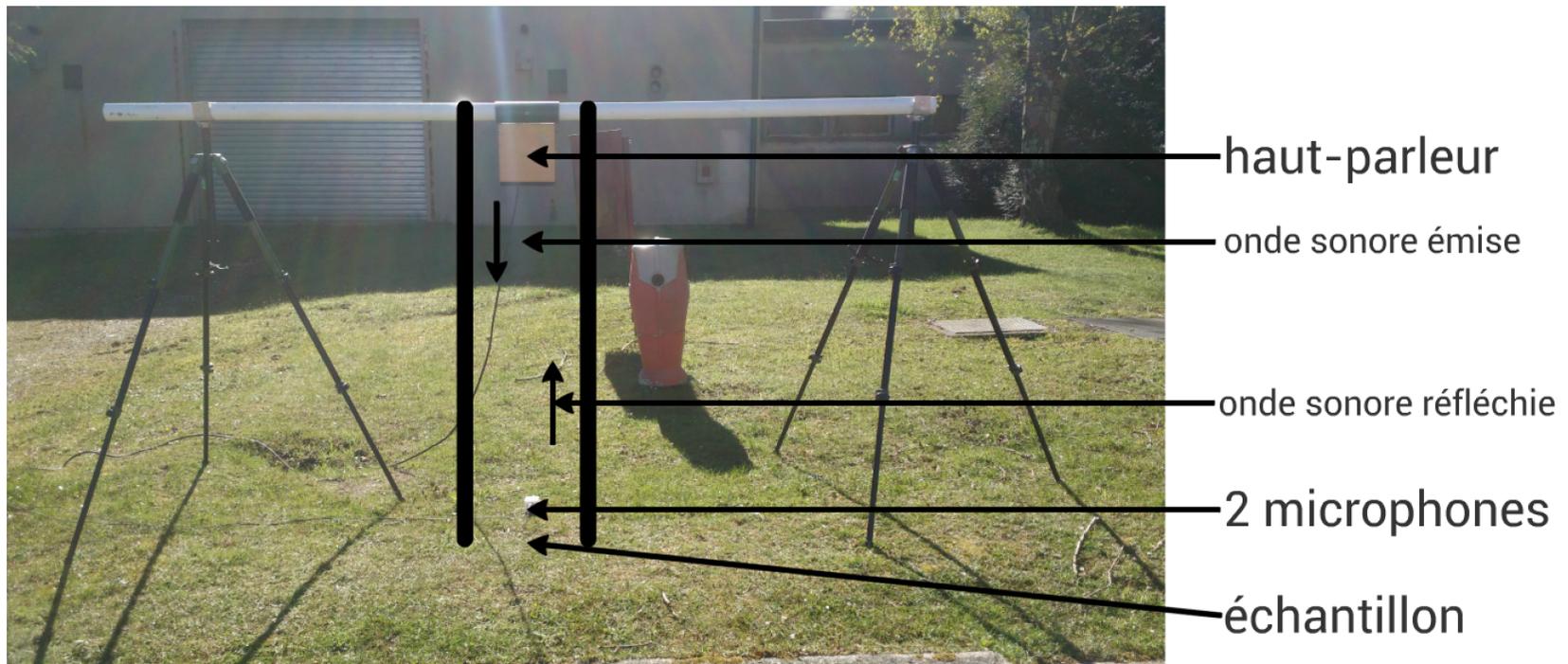
- Adaptation d'un nouveau matériel d'acquisition → Étude de sensibilité des paramètres en vue d'améliorer le dispositif (démonstateur → prototype),
- Prévion du colmatage des chaussées avec des mesures régulières de l'impédance de surface (chantiers de Neuville et des Trois Pierres et montage convention avec CD76 pour répondre à ce besoin),
- Application à d'autres matériaux pour évaluer les propriétés mécaniques (ballast, sol naturel type digue) ; expérimentation permettant de comparer 4 méthodes (sismique active et passive, dynaferroviaire, radar et impédance acoustique).
- A plus long terme, développement de méthodes de mesure in situ en utilisant le bruit ambiant (méthode passive).

# Théorie des ondes planes



Norme 10534-2

Tube d'impédance et théorie des ondes planes



# Principe de la mesure

→ Basée sur la méthode de la fonction de transfert à incidence normale ou rasante (appelée méthode du doublet microphonique),

→  $Z_s$  = ratio en un point de la pression et de la vitesse particulière

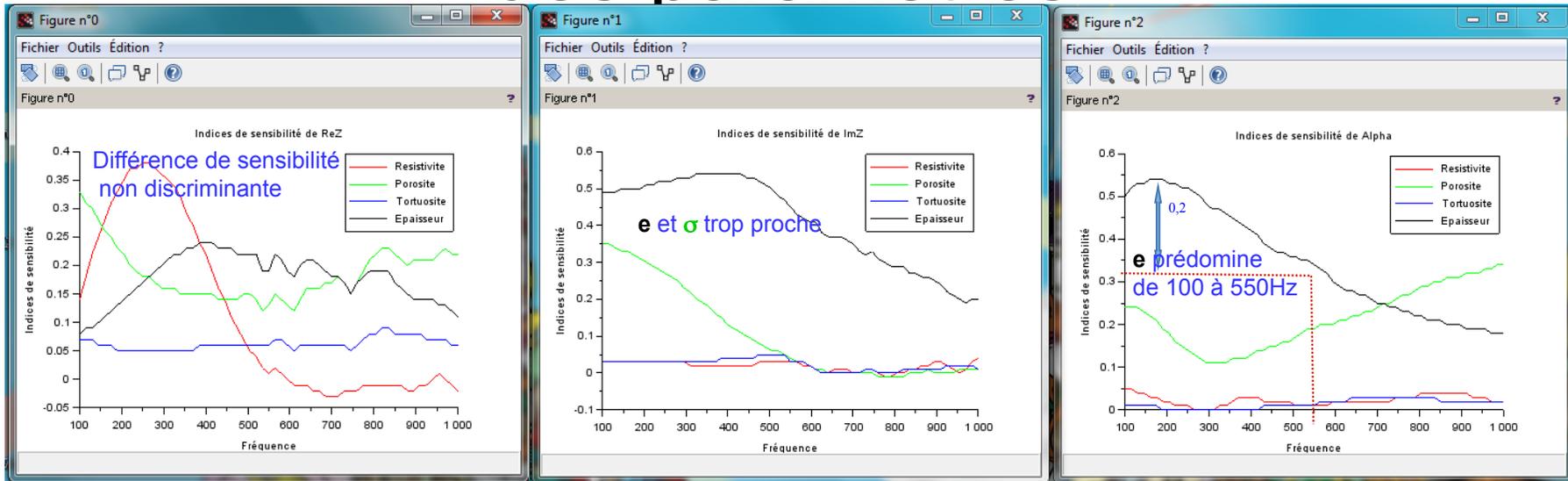
→ Deux mesures de pression à deux points → coefficient de réflexion complexe ou impédance de surface : grandeur complexe permettant de calculer  $e$  et paramètres intrinsèques ( $\sigma$ ,  $\phi$ ,  $\alpha_\infty$ ) au moyen d'algorithmes d'optimisation et de modèle de propagation d'ondes dans un milieu poreux,

$$p(x,t) = Ce^{j\omega t}(e^{jk_{\text{air}}x} + Re^{-jk_{\text{air}}x}) = e^{j\omega t}P(x)$$

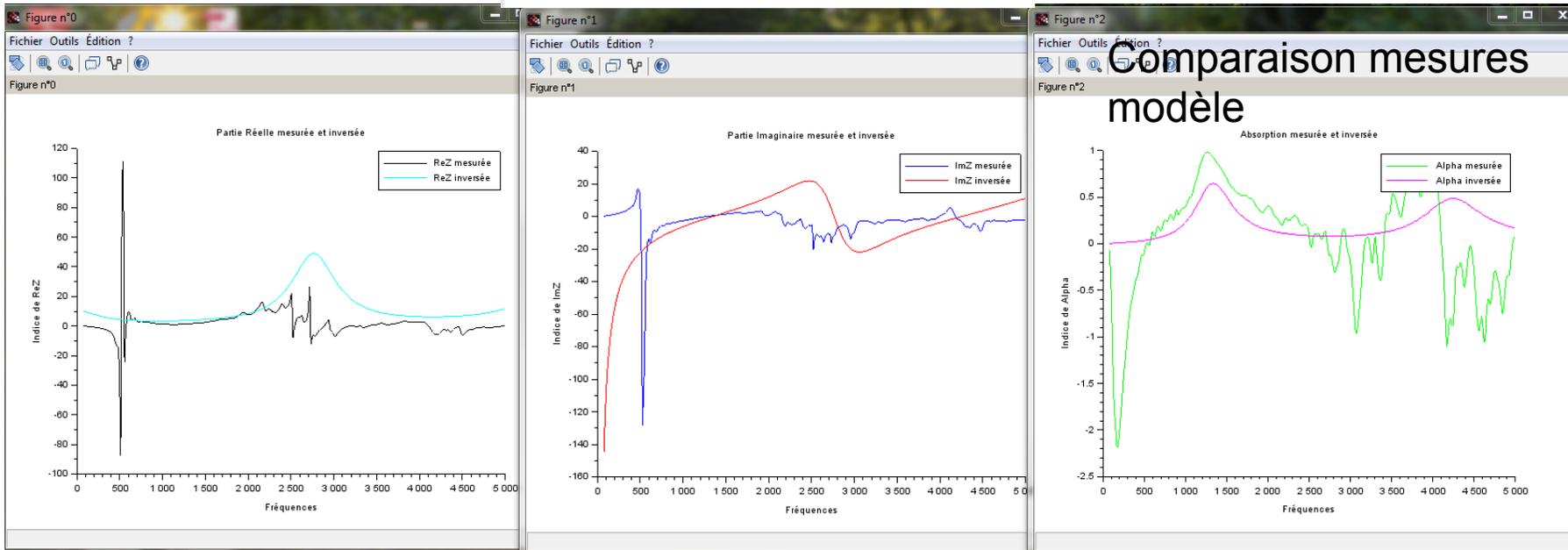
$$R = (Z_s - Z_0) / (Z_s + Z_0) \quad \text{et} \quad \alpha = 1 - |R|^2$$

→ Algorithme d'optimisation : recuit simulé avec la minimisation d'une fonction de coût = différence des moindres carrés des grandeurs acoustiques mesurées et calculées

# Principe de l'algorithme d'estimation des paramètres

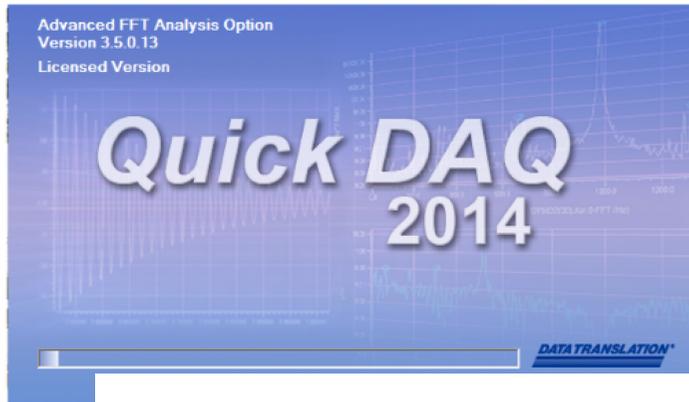


phi	sigma (Nm-4s)	alpha_inf	e (m)
0.1349	58421	4.29	0.026

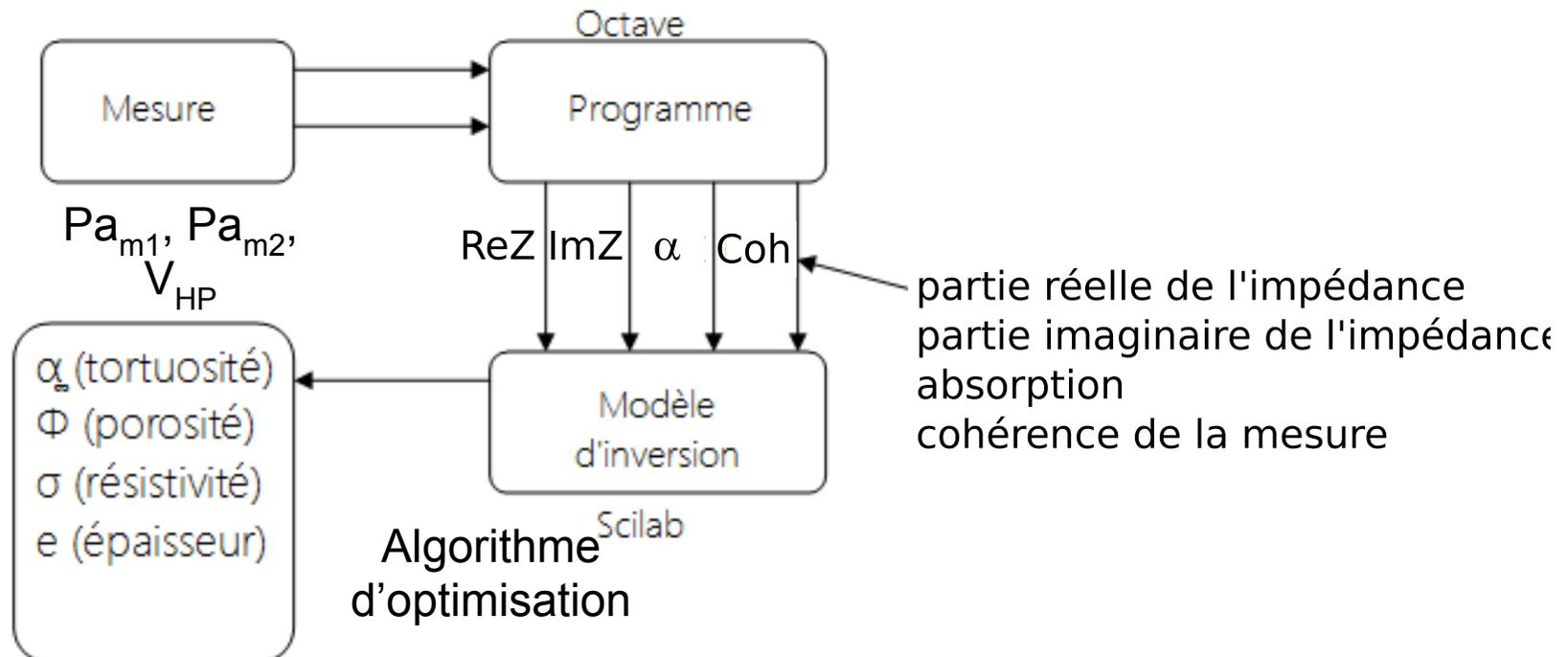


Comparaison mesures modèle

# Traitement des données



QuickDAQ est le logiciel d'acquisition



## Le matériel



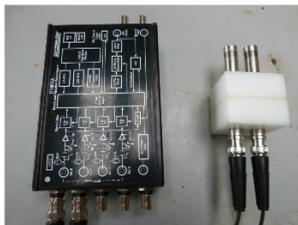
Batterie 12 V



Convertisseur 12 V - 220 V



Amplificateur  
Bruël & Kjaer



Boîte d'acquisition et 2  
microphones

## Les outils



Niveau à bulle



Sonde de température



Calibrateur 94 dB à 1000 Hz

# Sensibilité paramètres dispositif

- Premiers essais → erreur d'acquisition ???

Variation de la hauteur	"Initiale"	"+10 cm"	"+20 cm"	"+30 cm"
Micro 1	✓	✓	✓	✓
Micro 2	✓	✓	✓	✓

# Amélioration dispositif

Adaptation de la hauteur du doublet microphonique

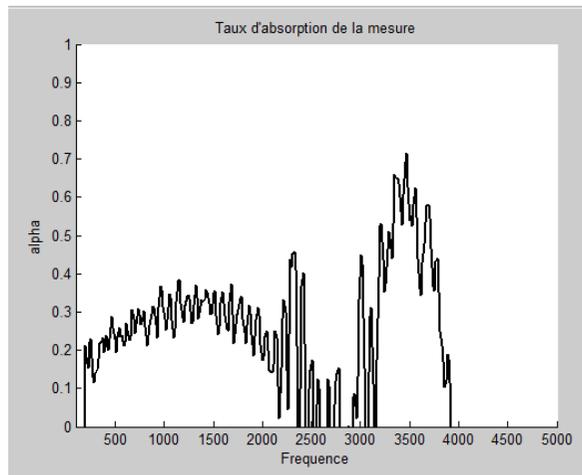
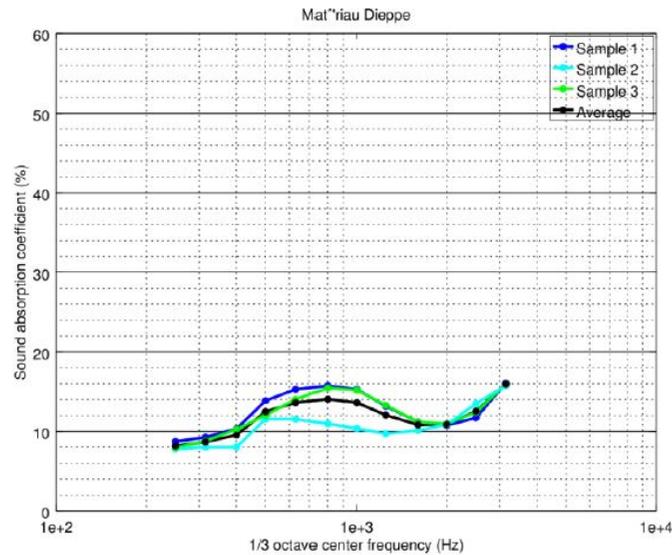
- amélioration de la position des micros,
- déterminer hauteur avec télémètre laser,
- adaptation suivant la macrostructure des matériaux auscultés



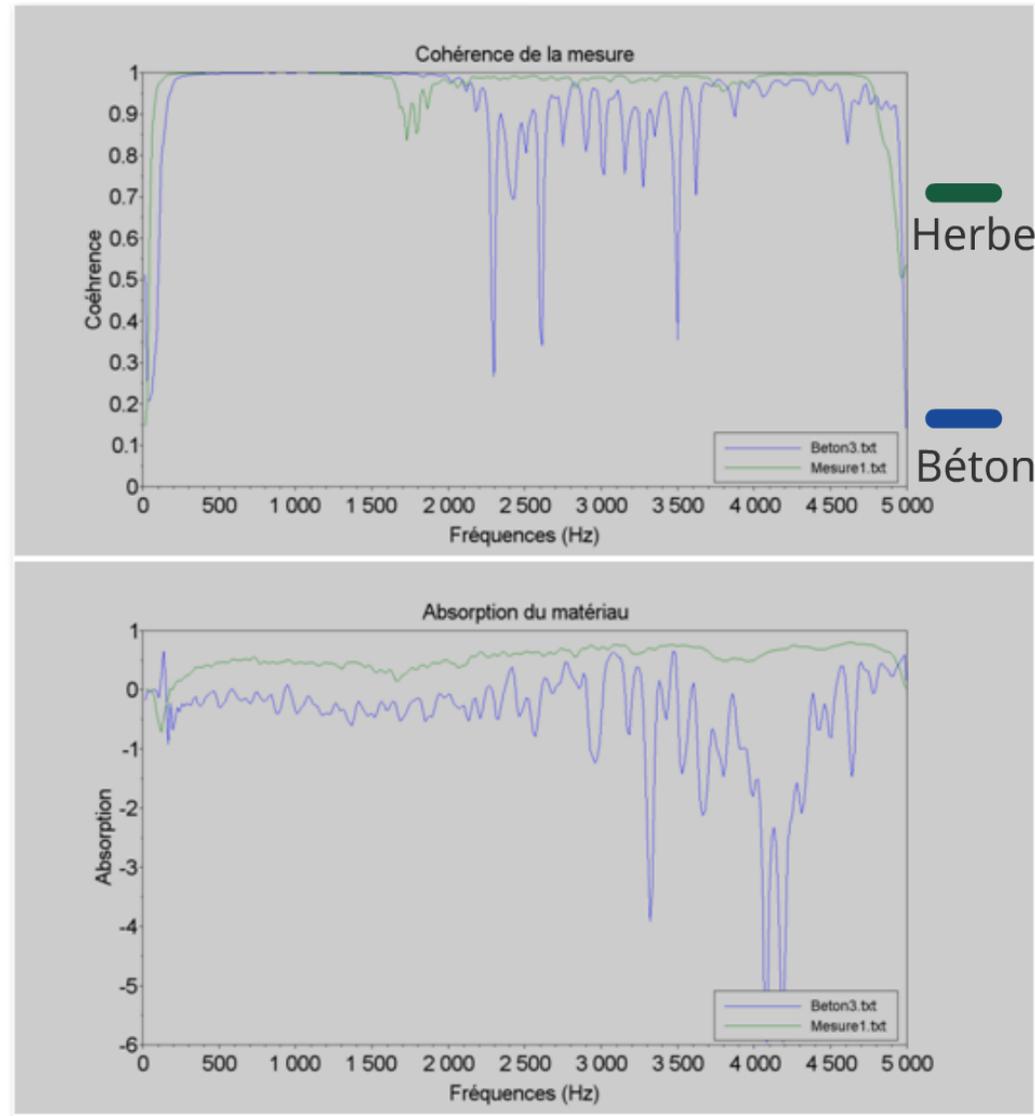
- Prévoir de traiter le pied pour éviter l'influence acoustique de cet élément.



# Quelques résultats



Absorption chantier  
Neuville

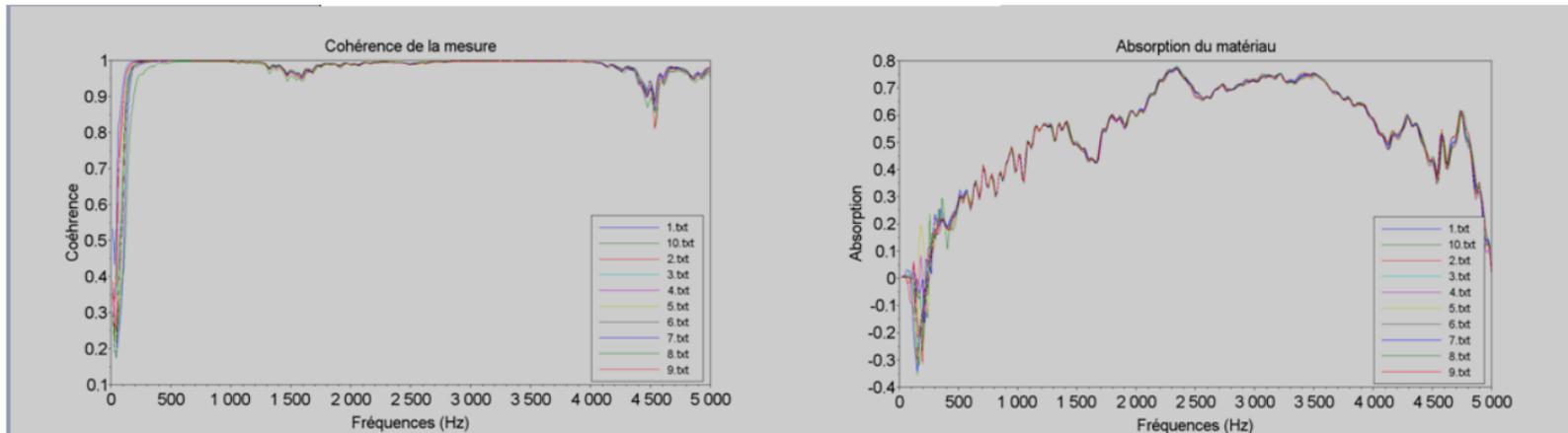


Comparaison herbe et béton

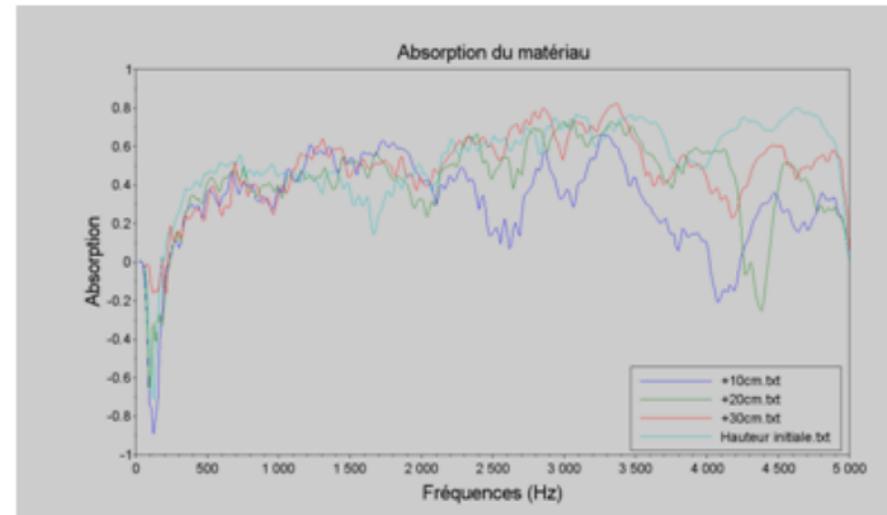
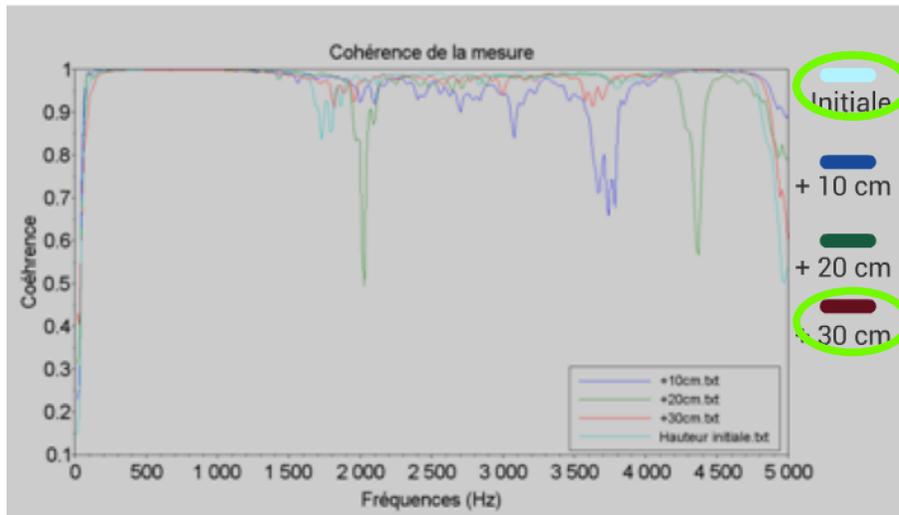
# Répétabilité de la mesure

Fréquence (Hz)	Absorption	Cohérence
1996,997	0,597903	0,988514
1996,997	0,595339	0,988248
1996,997	0,597698	0,988121
1996,997	0,596268	0,987177
1996,997	0,593039	0,987048
1996,997	0,595438	0,989534
1996,997	0,596347	0,988370
1996,997	0,594275	0,988157
1996,997	0,596645	0,987219
1996,997	0,598908	0,987227
<b>Moyenne</b>	0,596186	0,987962
<b>Écart-type</b>	0,001755	0,000791

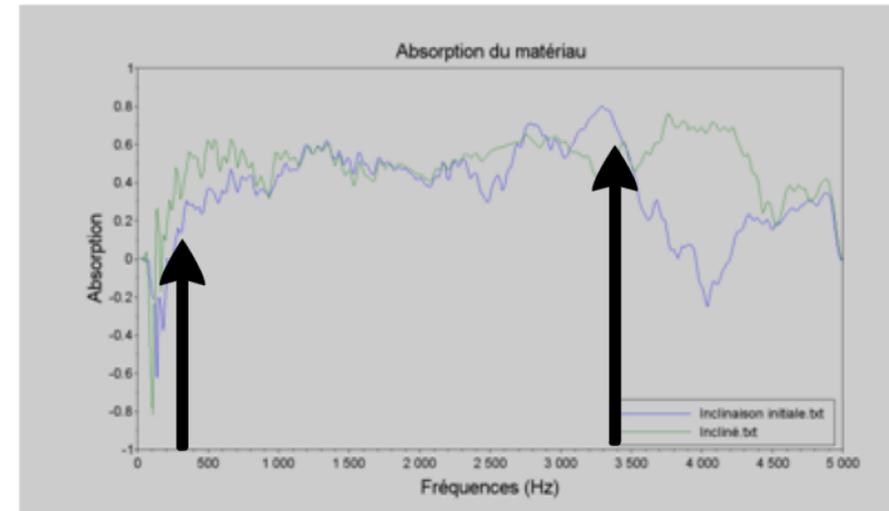
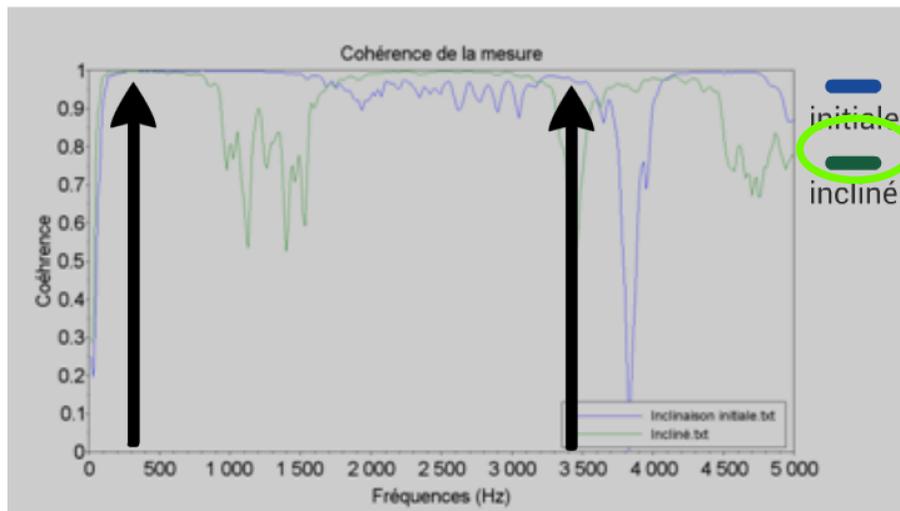
Tableau comprenant les valeurs d'absorption et de cohérence



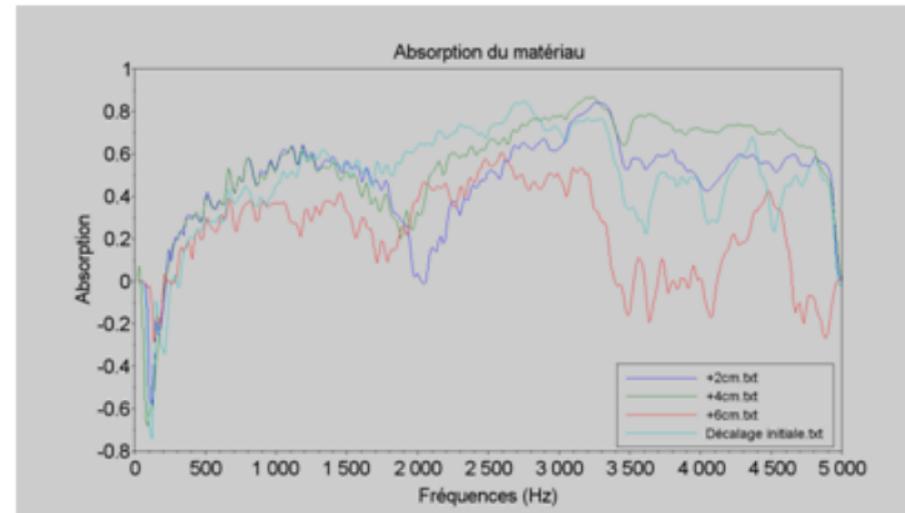
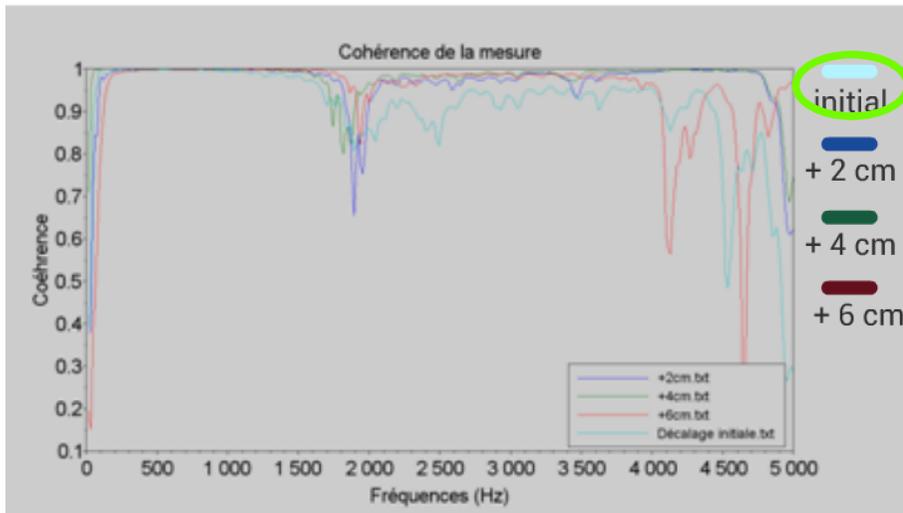
Courbes de répétabilité



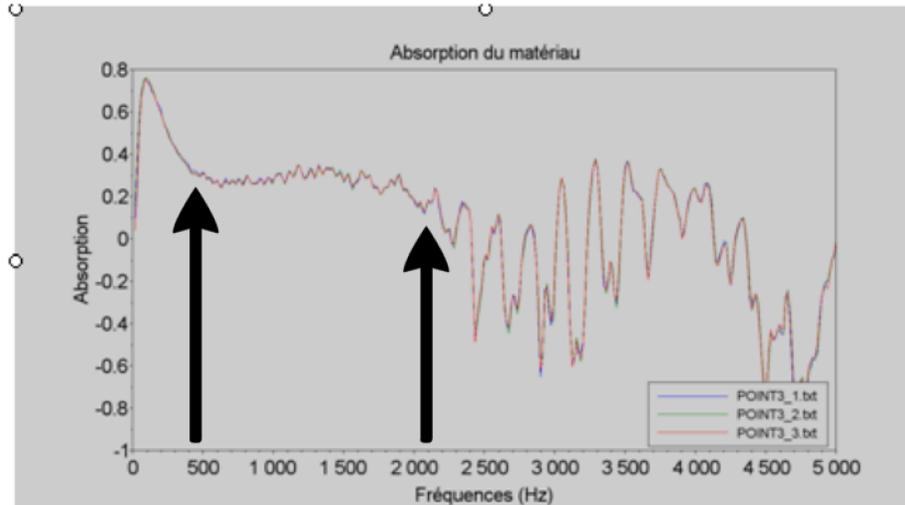
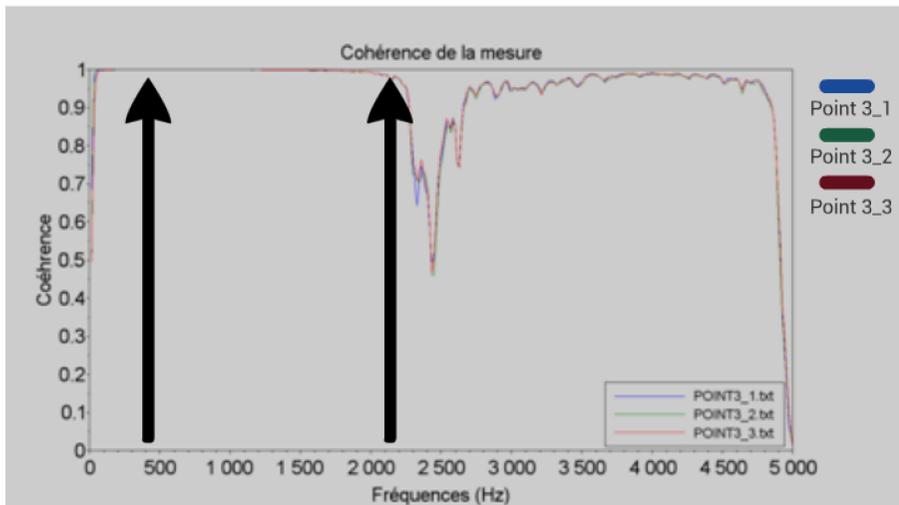
## Courbes de la variation de la hauteur



## Courbes de la variation de l'inclinaison



## Courbes de la variation du décalage horizontal



## Courbes d'essai au troisième point de la piste d'éclairage de la Dter NC

# Conclusions et perspectives

- Méthode permettant de faire une mesure quantitative de l'évolution du colmatage des chaussées acoustiques
- Amélioration du dispositif de mesure (traitement et matériel)
- Perspectives d'utiliser un modèle développé sous scilab plus simple à deux paramètres au lieu de quatre,
- Fort intérêt du département (76) pour caractériser leurs chaussées vis-à-vis du colmatage (mesures quantitatives)
- Montage convention avec CD76 en cours pour aboutir à un prototype et pour valider résultats sur chantier (Neuville, Trois Pierres) avec
  - mesure d'impédance acoustique in situ,
  - prélèvement carottes LR --> tube d'impédance CEVAA



**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement



# Merci pour votre attention

Delphine JACQUELINE, CER

+33 (0)2 35 68 82 09

[delphine.jacqueline@cerema.fr](mailto:delphine.jacqueline@cerema.fr)

Gaëlle BENOIT, CD76

+33 (0)2 32 14 48 35

[gaelle.benoit@seinemaritime.fr](mailto:gaelle.benoit@seinemaritime.fr)

Guillaume DUBOIS, CECF

+33 (0)2 35 68 82 01

[guillaume.dubois@cerema.fr](mailto:guillaume.dubois@cerema.fr)