

LES PLÉNIÈRES 2007 DU LCPC

Sciences et techniques
du **Génie Civil**

JOURNÉES ACOUSTIQUE

BORDEAUX - 31 MAI ET 1^{ER} JUIN 2007

Identification automatique de paramètres intrinsèques de revêtements et mesure d'absorption acoustique

Guillaume Dutilleux et David Ecotièrè
LRPC de Strasbourg – ERA n° 32 LCPC

Introduction

- **Effet de sol**

Données d'entrée des modèles de prévision – Importance de l'effet de sol dans la propagation

- **Pérennité acoustique des revêtements de chaussées**

Accès aux paramètres intrinsèques nécessaire

- **Difficulté de la mesure directe**

Exclu de prélever des échantillons à répétition – matériaux non cohérents – appareillage lourd réservé au laboratoire

- **Pratique actuelle de l'identification**

Mesure acoustique – ajustement visuel par l'opérateur – risque de biais – tâche répétitive

Plan de l'exposé

- **Théorie**

Modèles de propagation – Grandeurs décrivant l'absorption -
Modèles de matériaux

- **Identification d'un sol herbeux**

Geométrie de la mesure – Formulation de l'identification –
Résultats – Comparaison à la détermination “manuelle”

- **Identification d'un revêtement**

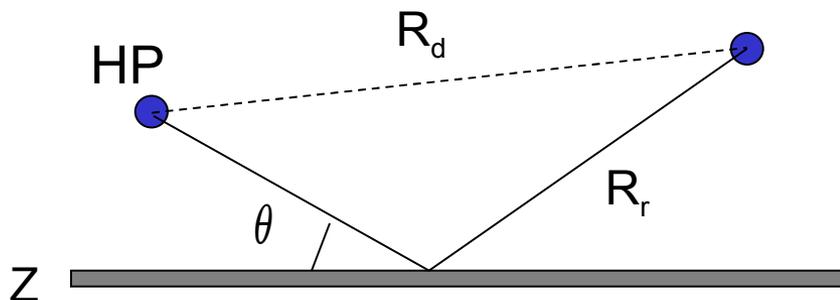
Géométrie de la mesure – Formulation de l'identification –
Algorithme d'optimisation - Résultats

Modèle de propagation

- **Modèle de Rudnick [JASA, 1947]**

Sol homogène impédant

- **Géométrie**



Microphone

$$p_i = p_d + Q(Z)p_r$$

Modèle de propagation

- **Modèle de Rudnick [JASA, 1947]**
- **Coefficient de réflexion complexe**
- **Coefficient de réflexion en onde plane**
- **Fonction de sol**

$$p_i = \frac{e^{jkR_d}}{R_d} + Q_i \frac{e^{jkR_r}}{R_r}$$

$$Q_i = R_p + (1 - R_p)F(w)$$

$$R_p = \frac{Z \sin \theta - 1}{Z \sin \theta + 1}$$

$$F(w) = 1 - 2jw^{1/2} e^{-w} \int_{-jw}^{\infty} e^{-u^2} du \quad \text{avec}$$

$$w^2 = \frac{1}{2} jkR_n \left(\sin \theta + \frac{1}{Z} \right)^2$$

- **Coefficient d'absorption**

$$\alpha = 1 - |Q|^2$$

Modèles d'absorption

- **Delany et Bazley [Appl. Ac., 1970]**
Pertinent pour les sols de l'environnement

Squelette rigide

Semi empirique

$$10 < \frac{f}{\sigma} < 1000$$

- **Impédance**

$$Z_{\infty} = \rho c \left(1 + 9.08 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.754} + 11.9j \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.732} \right)$$

- **Nombre d'onde**

$$\kappa = k_0 \left(1 + 10.8 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.7} + 10.3j \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.595} \right)$$

- **1 paramètre inconnu**

Résistance spécifique au passage de l'air : σ

Modèles d'absorption

[Hamet Bérengier, 1993]

• Hamet et Bérengier

Adapté aux revêtements de chaussées

Squelette rigide
à porosité ouverte
et connectée

• Impédance $Z_{\infty} = \rho_0 c_0 \frac{1}{\Omega} \sqrt{\frac{K}{\gamma}} \frac{\sqrt{1 - \nu \frac{f_{\mu}}{f}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{1}{1 - \nu \frac{f_{\theta}}{f}}}}$

Effets thermiques
et visqueux

• Nombre d'onde $\kappa = k_0 \sqrt{K \gamma} \sqrt{1 - \nu \frac{f_{\mu}}{f}} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{1}{1 - \nu \frac{f_{\theta}}{f}}}$

$$f_{\mu} = \frac{1}{2\pi} \frac{R_s}{\rho_0} \frac{\Omega}{K}$$

$$f_{\theta} = \frac{1}{2\pi} \frac{R_s}{\rho_0} \frac{1}{N_{pr}}$$

• 3 paramètres inconnus

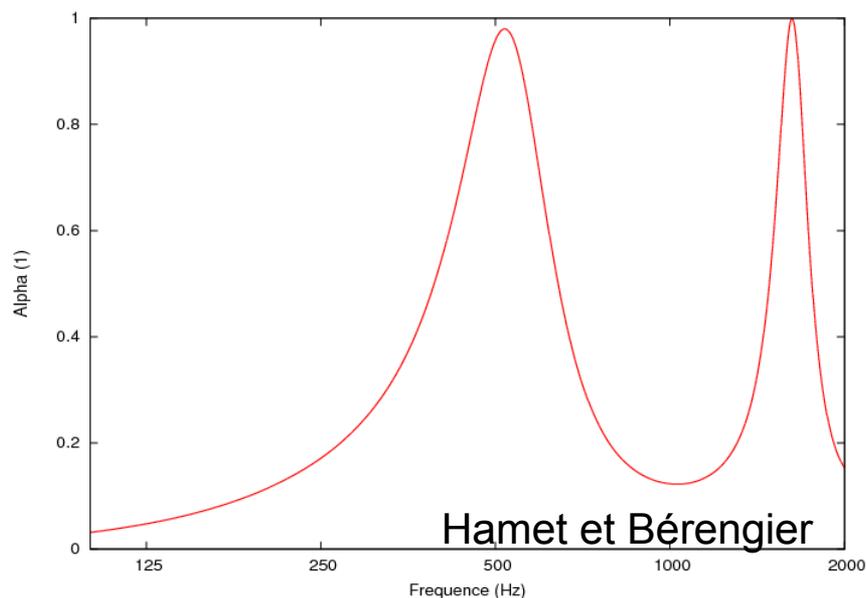
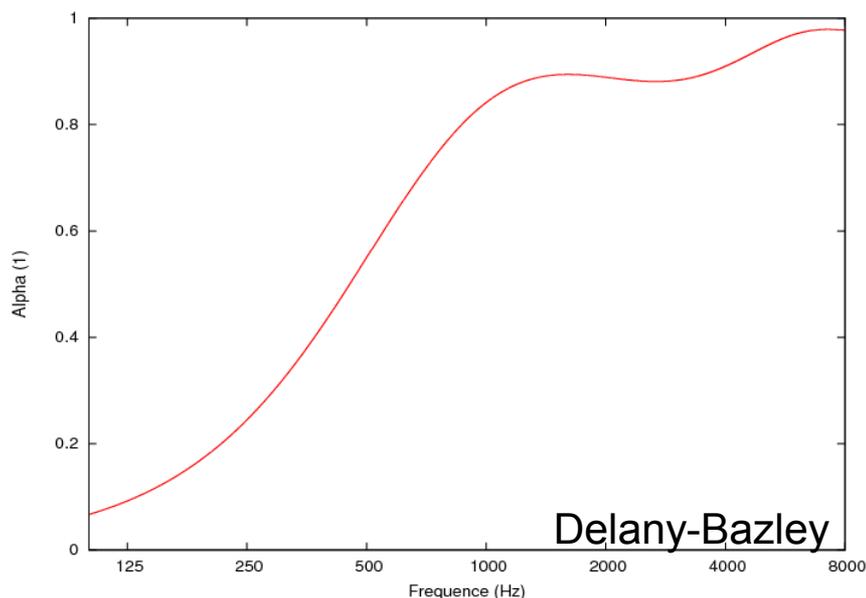
Résistance au passage de l'air - Tortuosité - Porosité



Modèles d'absorption

• Correction d'épaisseur finie

$$Z = Z_{\infty} \coth \kappa e$$



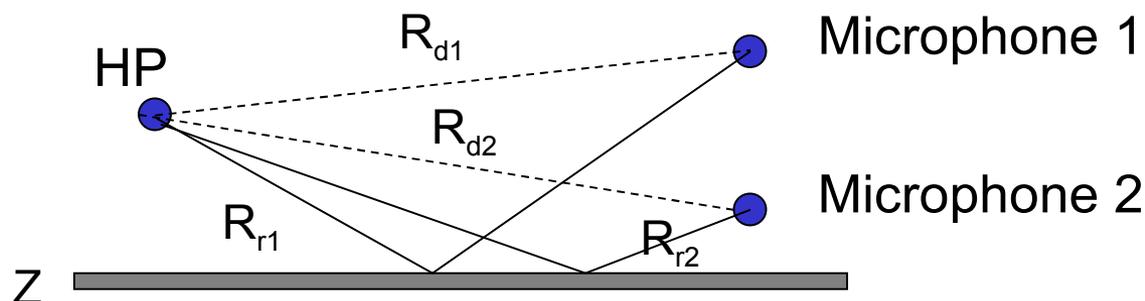
• Une inconnue supplémentaire

Delany et Bazley : 2 – Hamet et Béréngier : 4

Identification d'un sol herbeux

• Géométrie

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left| \frac{p_1}{p_2} \right|$$



• Problème inverse : fonction coût à minimiser

$$C(\sigma, e) = \sum_{f=100Hz}^{f=1kHz} \left| \partial_f \Delta L_{calculé} - \partial_f \Delta L_{mesuré} \right|^2$$

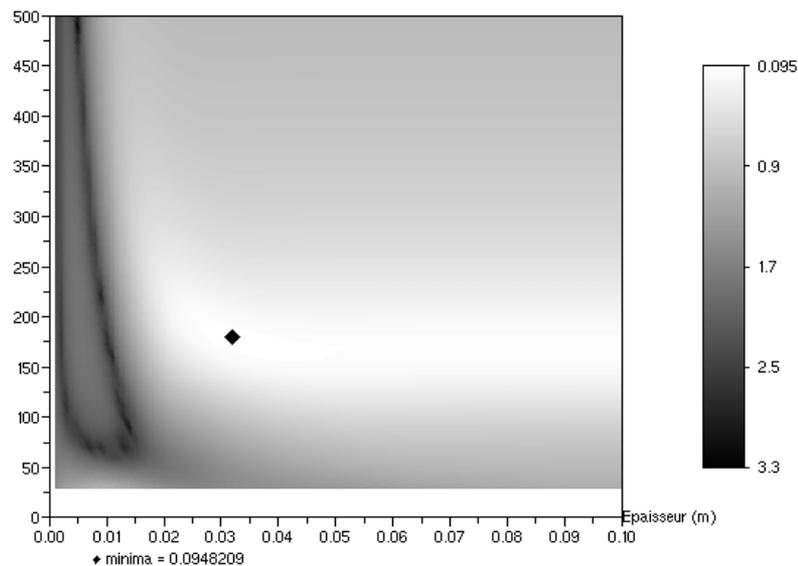
• Résolution : recherche exhaustive

Identification d'un sol herbeux

• Résultats

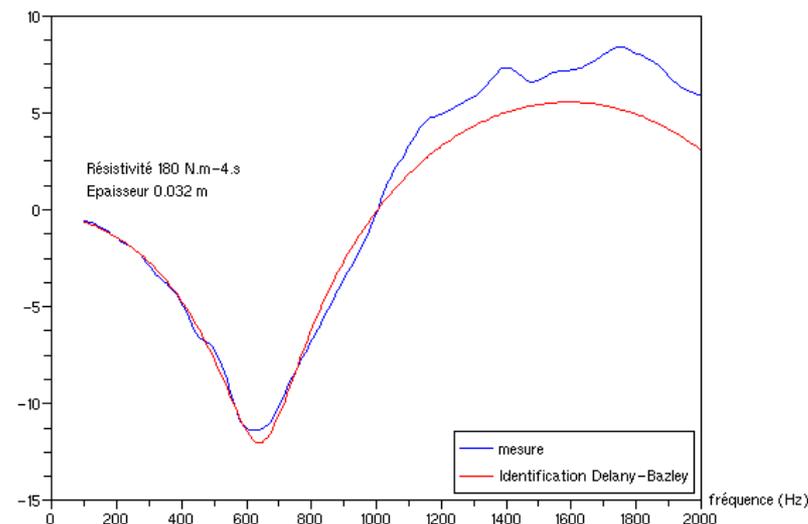
Résistivité(N.s.m-4)

Fonction coût 8_juin_2005_X_I3-10-2



Module fonction de transfert (dB)

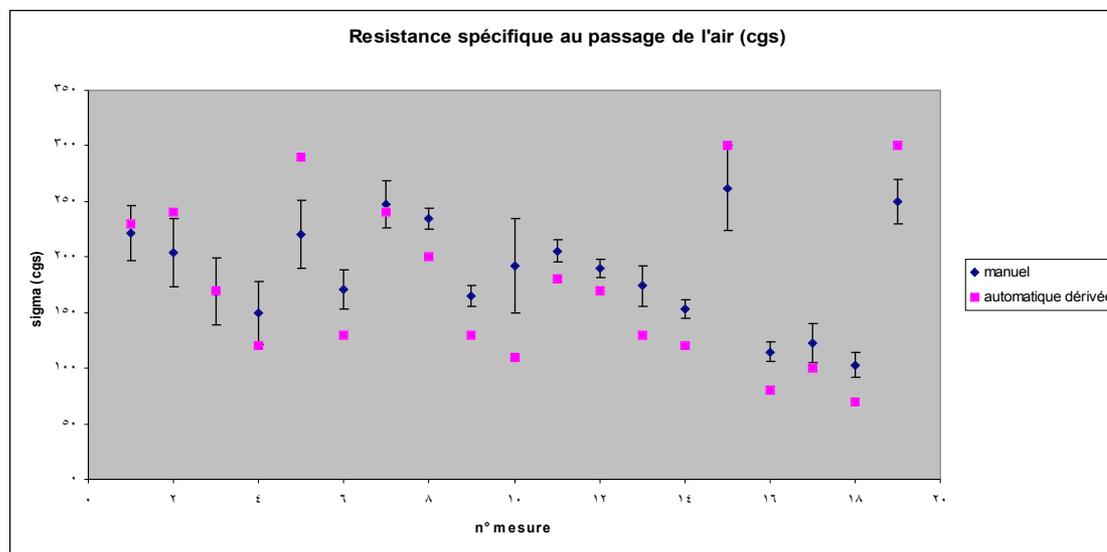
mesure 8_juin_2005_X_I3-10-2



Identification d'un sol herbeux

• Comparaisons à une référence

- campagne de mesures RST-EDF-SNCF Lannemezan 2005
- ajustement visuel (4 opérateurs) vs ajustement automatique



Identification d'un revêtement de chaussée

- **Mesure ISO 13472-1**

Destinée aux revêtements de chaussées

- **Caractéristiques**

Technique MLS - Soustraction – Fenêtrage temporel – Coefficient d'absorption de 250 à 4000 Hz

- **Mesure en incidence normale**

Géométrie source récepteur fixe



Identification d'un revêtement de chaussée

• Formulation du problème d'identification

$$\hat{\theta} = \arg \min (Ap(\theta) + \lambda V(\theta))$$

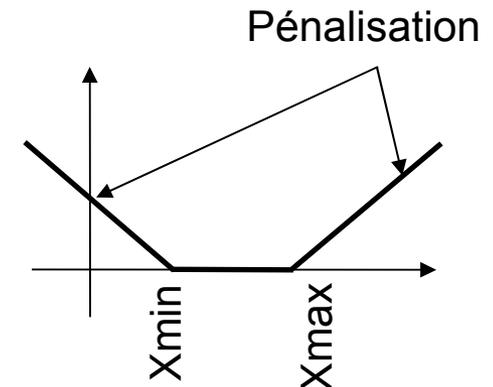
• *A priori*

Intervalles de validité des paramètres $1000 \leq R_s \leq 70000$

$$1 \leq K \leq 10$$

$$0 \leq \Omega \leq 0.5$$

$$0.02 \leq e \leq 0.5$$



• Vraisemblance

$$V(R_s, K, \Omega, e) = \sum_{f=f_{min}}^{f=f_{max}} H(\alpha_{mesure}(f) - \alpha_{HB}(R_s, K, \Omega, e, f))$$

• Variantes

Fréquence maximale – Fonction écart H

=> Se limiter aux basses fréquences et utiliser la norme classique

Algorithme d'optimisation

• Sélection clonale

Métaphore immunologique

• Correspondances

Anticorps \Leftrightarrow Variables

Affinité Anticorps/Antigène \Leftrightarrow Coût

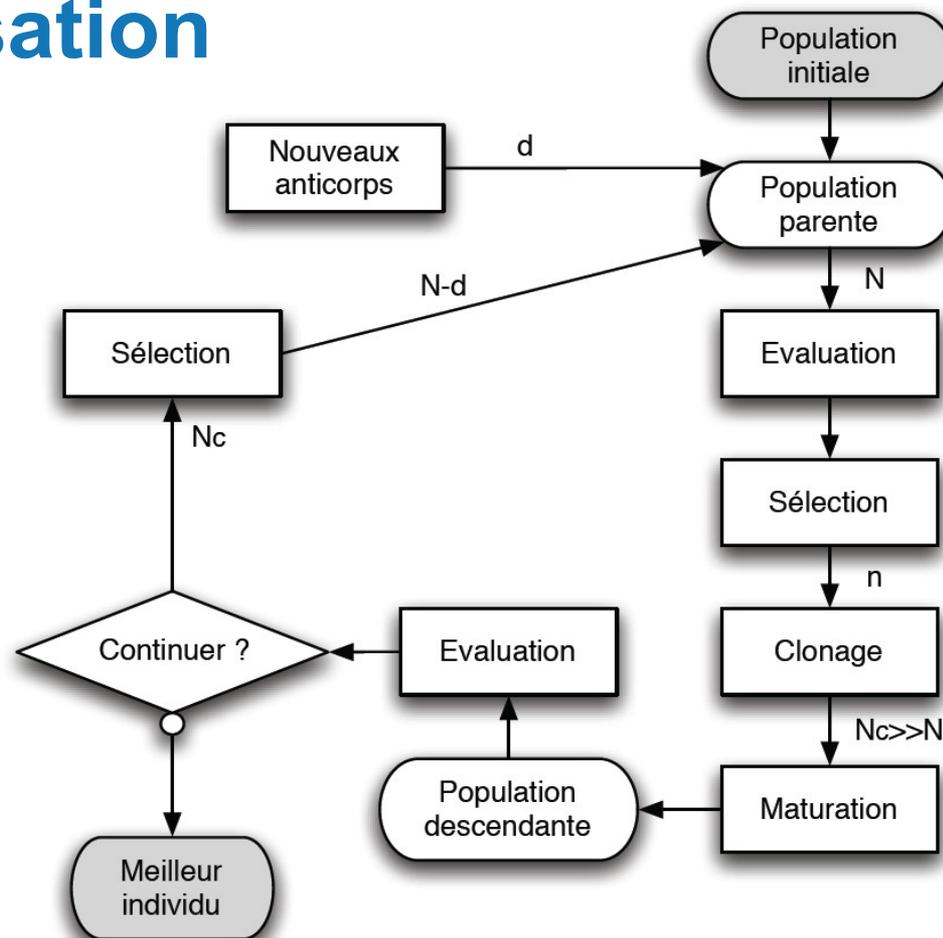
Maturation \Leftrightarrow Exploration

• Propriétés

Sélection positive

Plusieurs paramètres internes
nécessitant un réglage

L'un des optimiseurs les plus efficaces



Identification d'un revêtement de chaussée

• Premiers résultats

• Données

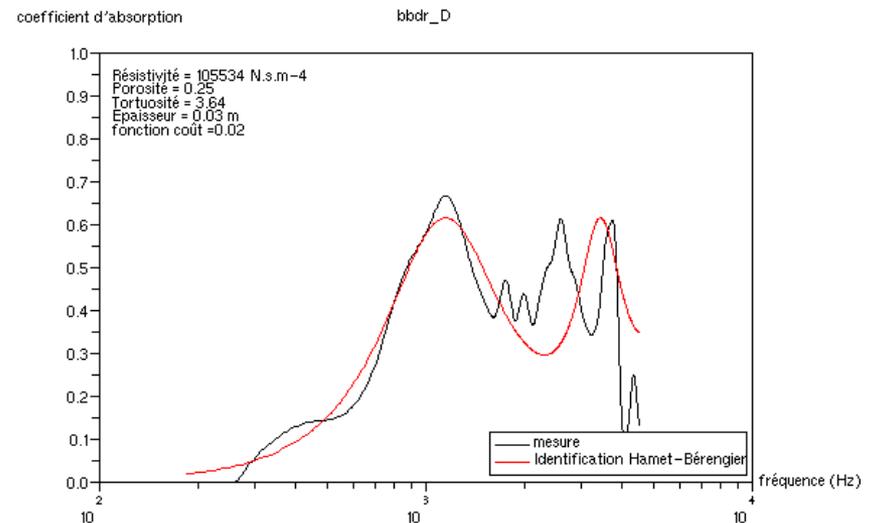
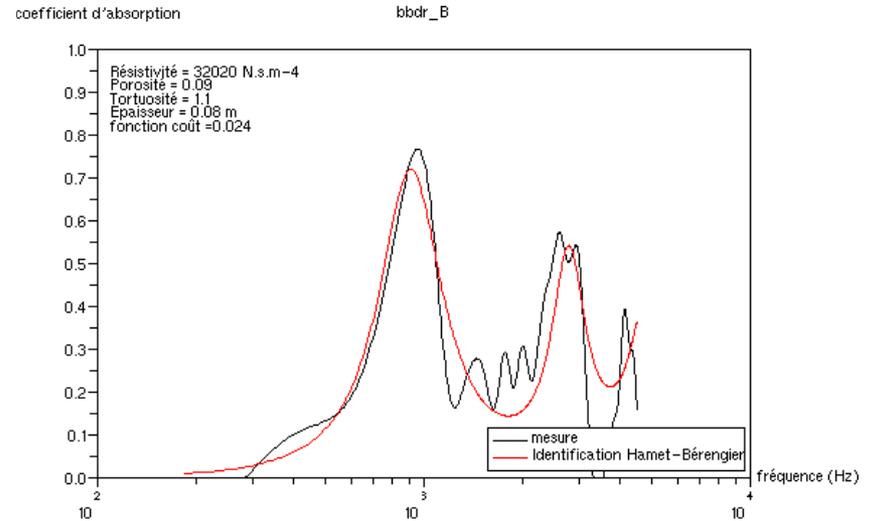
Mesures division ESAR LCPC - BBDr piste du LCPC Nantes – Revêtement altéré - 5 points de mesure

• Méthode de référence

Mesure en laboratoire - Echec des mesures ultra-sonores – Echec des mesures de résistivité

• Difficultés

A haute fréquence : validité de la mesure et du modèle ?



Conclusion

- **Identification d'un sol herbeux**

L'optimisation manuelle peut être remplacée par une recherche exhaustive.

La descente de gradient est envisageable – Point de départ naturel - Multistart éventuel – Perspective de détermination temps-réel.

Dans tous les cas, la vérification *a posteriori* reste possible.

- **Identification de revêtements**

Sélection d'une fonction coût.

Résultats prometteurs en se limitant à $f < 2000$ Hz.

Pour $f > 2000$ Hz modèle inapproprié ? Artefacts expérimentaux ?

Difficulté de trouver une référence.

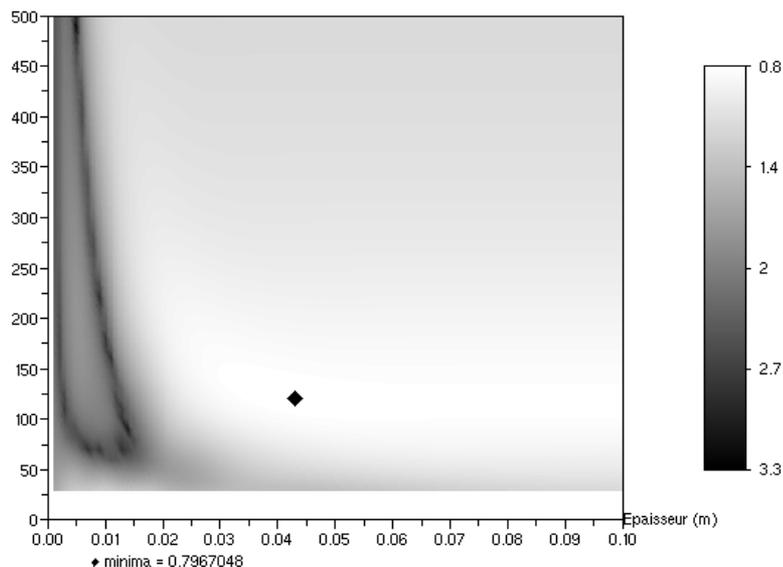
En l'absence de référence, obtention d'un matériau acoustiquement équivalent

Identification d'un sol herbeux

• Résultats

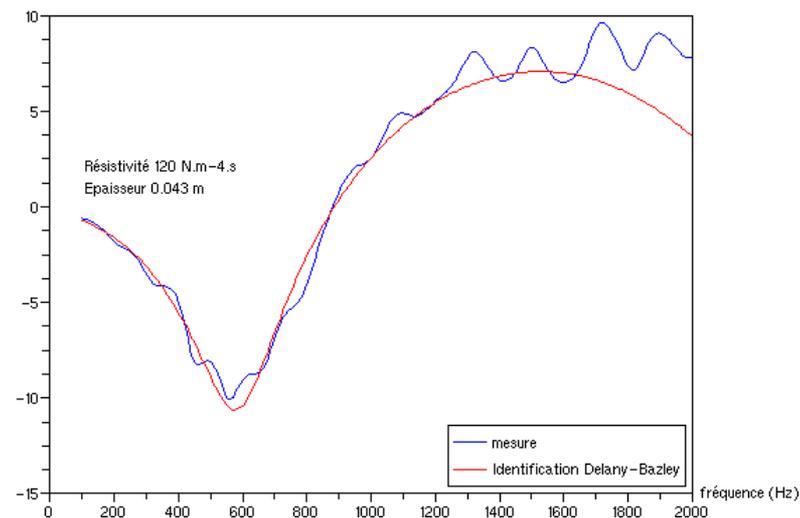
Résistivité(N.s.m-4)

Fonction coût 8_juin_2005_X_I3-75



Module fonction de transfert (dB)

mesure 8_juin_2005_X_I3-75



Identification d'un sol herbeux

- Perspectives d'améliorations
- plage de fréquences de minimisation
- nouvelle fonction coût

Module fonction de transfert (dB)

mesure 15_juin_2005_X_i2-125-15J

