

16ème Congrès Français d'Acoustique 11-15 Avril 2022, Marseille



Comparaison de deux méthodes pour la caractérisation de l'impédance acoustique de sols en milieu extérieur

B. Gauvreau^a, V. Gary^a, D. Ecotière ^b, Ph. Glé ^b, L. Brendel ^b, Ph. Bousquet ^c, V. Blandeau ^c

^aUMRAE UGE-Cerema, All. des Ponts et Chaussées, 44340 Bouguenais, France ^bUMRAE, Cerema-UGE, 11 rue Jean Mentelin, 67000 Strasbourg, France ^c AIRBUS Opérations S.A.S., 316, Route de Bayonne, 31060 Toulouse Cedex 9, France













Avant-propos

Contexte et cadre scientifique

- Projet « MAMBO »
 - Méthodes Avancées pour la Modélisation du Bruit moteur et aviOn (MAMBO)
 - Financement DGAC, ref. HNG/M21000549 (2021-2024)
- Sous-flux 1.4: Propagation du bruit avion à proximité du sol
 - Objectif: amélioration des modèles de prédiction pour une meilleure prise en compte des effets météorologiques et effets de sol
 - o et évaluation d'incertitudes.

Grands étapes du sous-flux 1.4

- 1. Campagne expérimentale in-situ:
 - Obtention d'une base de données (bruit, météo, impédance de sol) pour validation des modèles
 - Comparaison des bancs UMRAE & AIRBUS pour la mesure d'impédance de sols (benchmarks)
- 2. Développement du modèle
 - Domaine temporel, validation vs. méthodes numériques & mesures
 - Post-doc XXX >> rdv au prochain CFA ⁽³⁾
- 3. Analyse statistique & estimation des incertitudes



Sommaire

- Présentation des systèmes de mesure
- Protocole expérimental
- Comparaison des données
- Analyse des résultats
- Discussion, conclusion, perspectives

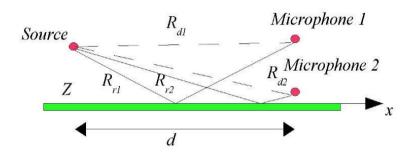


2 systèmes de mesure (étape 1)

Système UMRAE

Configuration

- o HS=0.6m, Hmic1=0.6m, Hmic2=0.06m
- Distance S-R : d= 4m

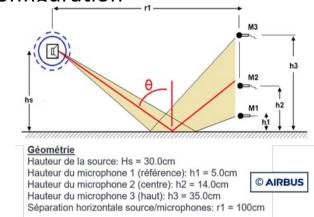


Matériel

- Emission: un haut-parleur Navsound Fugue 70W et un amplificateur de puissance Pioneer GM-A3602 (classe AB);
- Réception : deux microphones
 Microtechgefell M370 classe 1 (taille ¼",
 sensibilité 12.5mV/Pa), deux
 conditionneurs MMF M32 (alimentation
 ICP) et une carte d'acquisition Acoustics
 Engeneering Triton 2 canaux.

Système AIRBUS

Configuration



Matériel

 Le banc rassemble sur un portail rigide trois microphones ¼" GRAS ICP et une source acoustique omnidirectionnelle (chambre de compression BMS4592ND avec convergent conique), le tout étant connecté à un chariot intégrant une tablette, une carte d'acquisition Quattro (Data Physics), un amplificateur audio Focal FPP2100 et une alimentation par batterie Lithium

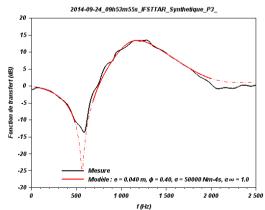




2 systèmes de mesure (étape 2)

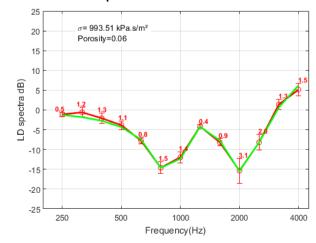
Système UMRAE

- Modèles théoriques
 - Delany & Bazley
 - o Miki
 - Zwicker & Kosten
 - Hamet & Bérengier
 - o etc.
 - \circ + effet d'épaisseur $Z_c = Z_{sol} \cdot coth(-j \cdot k \cdot e)$
- Procédure d'identification (« best fit »)
 - Développement sous Scilab
 - Traitement signal temporel (fenêtrage, etc.)
 - Inter-spectre mic1 // mic2
 - Algo. minimisation de l'erreur (EXP // TH)
 - Recherche exhaustive (ou algo. génétique)
 - Recherche sur pentes (sans « creux » interf.)
 - Critère « dynamique » : 15dB entre min/max



Système AIRBUS

- Modèles théoriques
 - Delany & Bazley
 - Miki
 - Attenborough (« Slit-pore », « var. porosity »)
 - o etc.
 - \circ + effet d'épaisseur $Z_c = Z_{sol} \cdot coth(-j \cdot k \cdot e)$
- Procédure d'identification (« best fit »)
 - o Développement sous Matlab
 - Traitement signal temporel (fenêtrage, etc.)
 - Inter-spectre mic1 // mic2
 - Algo. minimisation de l'erreur (EXP // TH)
 - o Recherche exhaustive
 - Recherche sur 2 géométries (ANSI-ASA S1.18)
 - Indicateur de qualité





Protocole expérimental

Plusieurs types de sol

- Sols réfléchissants
 - o Revêtements « fermés », e.g. béton lisse
 - o Revêtements « ouverts », e.q. « terrain stabilisé »
- Sols absorbants
 - o Terrain herbeux, « Terrain chaumé »
 - Terrain cultivé, « Terre compacte »





Procédure d'identification (calage inverse ou « best fit »)

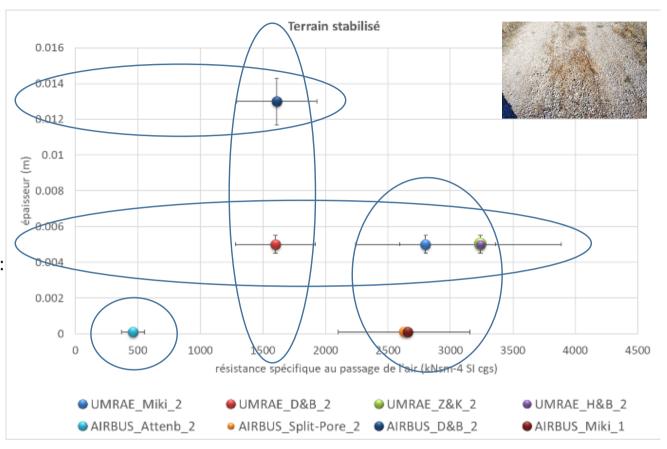
- Sur modèles théoriques d'impédance acoustique des matériaux
 - o UMRAE: **D&B_2**, Miki 2, Z&K, H&B, etc.
 - o AIRBUS: **D&B_2**, Miki_1, Attenb_1 (Slit-Pore), Attenb_2 (var. porosity), etc.
- Avec possible prise en compte effet de l'effet d'épaisseur (« _2 »)



Résultats pour le « terrain stabilisé »

Synthèse graphique

- Barres d'incertitudes
 « métrologiques »
 estimées depuis
 précédents travaux
 (UMRAE)
 - Sur résistance spécifique au passage de l'air (en kNsm⁻⁴) :
 de l'ordre de ± 20%
 - Sur épaisseur équivalente du matériau bicouche (en m) : de l'ordre de ± 10%



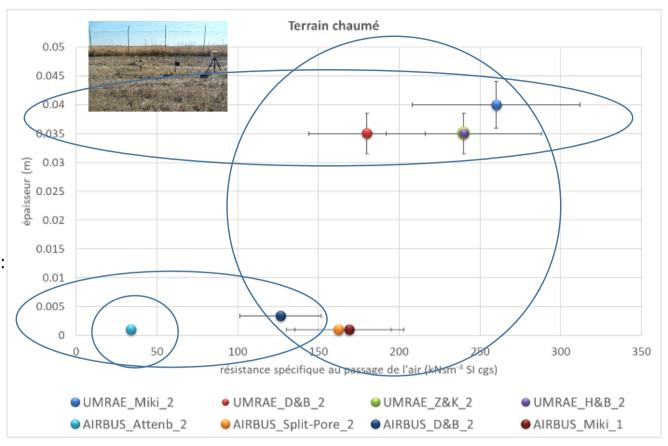
- Modèle d'impédance pour matériaux poreux (Attenb_2) : a priori non adapté (cf papier...)
- Valeurs d'épaisseur semblables (quand elles existent), sauf AIRBUS_D&B_2 (sur-estimée)
- Indépendamment des valeurs d'épaisseur, 2 modes dans les valeurs de résistance :
 - o Autour de 1600 : UMRAE D&B 2 & AIRBUS D&B 2 >> influence du modèle théorique d'impédance
 - Autour de 3000 : 5 calages donnent des résultats quasi identiques (aux incertitudes près)
 - >> technique de mesure robuste et terrain relativement homogène



Résultats pour le « terrain chaumé »

Synthèse graphique

- Barres d'incertitudes
 « métrologiques »
 estimées depuis
 précédents travaux
 (UMRAE)
 - Sur résistance spécifique au passage de l'air (en kNsm⁻⁴) :
 de l'ordre de ± 20%
 - Sur épaisseur équivalente du matériau bicouche (en m) : de l'ordre de ± 10%



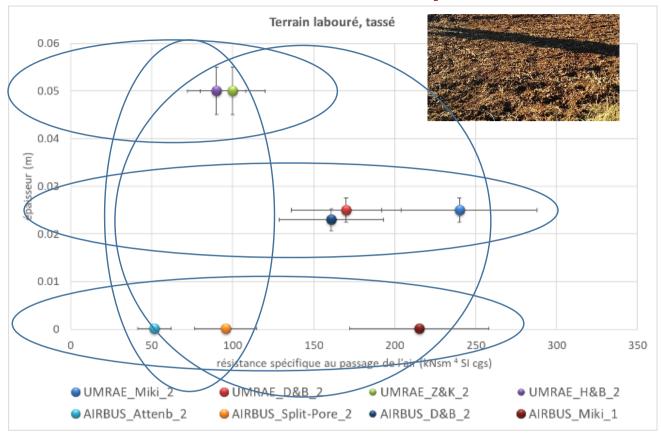
- Modèle d'impédance pour matériaux poreux (Attenb_2) : a priori non adapté (cf papier...)
- Valeurs d'épaisseur semblables (quand elles existent), sauf AIRBUS_D&B_2 (sous-estimée)
- Indépendamment des valeurs d'épaisseur, à propos des valeurs de résistance :
 - o Globalement cohérentes (et « classiques » pour ce type de matériau) dans l'intervalle [150-250 kNsm-4]
 - o 6 calages donnent des résultats quasi identiques (aux incertitudes près) (attention : effet d'épaisseur, cf Miki)
 - >> technique de mesure robuste et terrain relativement homogène



Résultats pour la « terre compacte »

Synthèse graphique

- Barres d'incertitudes
 « métrologiques »
 estimées depuis
 précédents travaux
 (UMRAE)
 - Sur résistance spécifique au passage de l'air (en kNsm⁻⁴) :
 de l'ordre de ± 20%
 - Sur épaisseur équivalente du matériau bicouche (en m) : de l'ordre de ± 10%



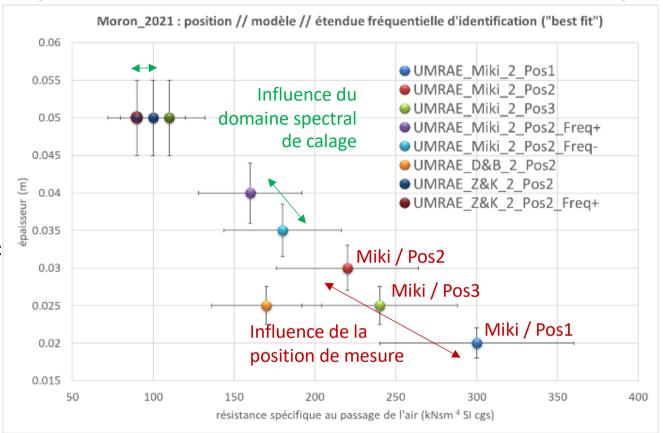
- Modèles d'impédance pour matériaux poreux (e.g. Attenb_2, H&B, Z&K) : adaptés ici!
- Valeurs d'épaisseur semblables (quand elles existent) : cohérentes mais répartition bimodale (selon modèle utilisé, poreux ou non) et talonnage à 0.05m (pour Z&K et H&B)
- Indépendamment des valeurs d'épaisseur, à propos des valeurs de résistance :
 - Globalement cohérentes (et « classiques » pour ce type de matériau) dans l'intervalle [50-250 kNsm-4]
 - Davantage de dispersion avec modèles empiriques (D&B, Miki) qu'avec phénoménologiques (bimodal aussi)
 - o >> choix du dispositif de mesure déterminant ici (matériau poreux) + hétérogénéité spatiale à appréhender...



Discussion // dispersion (pour « terre compacte »... seulement!)

Synthèse graphique

- Barres d'incertitudes
 « métrologiques »
 estimées depuis
 précédents travaux
 (UMRAE)
 - Sur résistance spécifique au passage de l'air (en kNsm⁻⁴) :
 de l'ordre de ± 20%
 - Sur épaisseur équivalente du matériau bicouche (en m) : de l'ordre de ± 10%



- Terrain relativement homogène MAIS influence non négligeable de la position (zone) de mesure >> lissage spatial ? Sur combien de mesures ?
- Les incertitudes « métrologiques » (répétabilité, reproductibilité, etc., cf barres d'erreur) sont moins importantes que la dispersion liée au choix du modèle théorique d'impédance
- L'étendue du domaine spectral choisi pour l'identification (« best fit ») est négligeable
- Attention : observations NON généralisables à TOUS les sols naturels !

Bilan & perspectives

Bilan du benchmark expérimental

- Les systèmes UMRAE // AIRBUS donnent des résultats semblables donc déjà assez robustes pour l'estimation de l'impédance acoustique des sols naturels
- Des disparités existent selon le modèle d'impédance théorique utilisé, qui doit donc être choisi *ex-ante* selon le type de sol considéré
- La prise en compte de l'effet d'épaisseur (ou non) est parfois déterminante sur le résultat d'identification (calage) de la valeur de la résistance au passage de l'air
- Dans une moindre mesure : attention à la dispersion spatiale liée à la zone de mesure, en particulier lorsque le terrain est hétérogène >> moyenne spatiale
- Influence du domaine spectral pour l'identification des paramètres : quasinégligeable, *a fortiori* pour sols absorbants

Perspectives

- « rejouer » les mesures UMRAE & AIRBUS avec des modèles parfaitement identiques
- Refaire ces analyses sur davantage de terrains « test » (référence ?)
- Amélioration des modèles d'impédance et évaluation fine des incertitudes
- Validation/évolution des systèmes prototypes (hardware, software, méthode, etc.)



Merci de votre attention...

... des questions ?



Ce document et toute l'information contenue est la seule propriété d'Airbus, du Cerema et de l'Université Gustave Eiffel. Aucun droit de propriété intellectuelle n'est accordé par la transmission de ce document ou ni par la divulgation de son contenu. Ce document ne doit pas être reproduit ou divulgué à un tiers parti sans le consentement exprimé par écrit d'Airbus, du Cerema et de l'Université Gustave Eiffel. The document et son contenu ne doivent en aucun cas être utilisé à des fins autres que celles pour lesquelles il est fourni.

This document and all information contained herein is the sole property of Airbus, Cerema and Université Gustaver Eiffel. No intellectual property rights are granted by the delivery of this document or the disclosure of its content. This document shall not be reproduced or disclosed to a third party without the expressed written consent of Airbus, Cerema and Université Gustaver Eiffel. This document and its content shall not be used for any purpose other than that for which it is supplied.

