



GDR ONDES

GT1 « Modélisation des phénomènes de diffraction et de propagation des ondes électromagnétiques et acoustiques »

GT3 « Imagerie et inversion »

Réfléctométrie(s)

LUNDI 18 MAI 2009

Amphithéâtre Hermite

Institut Henri Poincaré (IHP)

11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05

<http://www.ihp.jussieu.fr/>

Accueil	9h30–10h00	Page
Contexte et application des méthodes de réflectométrie dans le cadre de l'activité du diagnostic de réseaux d'interconnexions câblés - Méthodes de diagnostic de câble embarquées dans les systèmes complexes, M. Olivas et A. Lelong <i>Laboratoire de Fiabilisation des Systèmes Embarqués, CEA-LIST, Saclay</i>	Invité 10h00	3
Réflectométrie à faible cohérence appliquée à la caractérisation de guides optiques Xavier Chapeleau <i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bouguenais</i>	10h40	4
Modélisation dédiée à la réflectométrie pour le diagnostic de câblages M. Smail et L. Pichon <i>Laboratoire de Génie Electrique de Paris, Gif-sur-Yvette</i>	11h05	5
La réflectométrie radar appliquée en génie civil et géophysique Xavier Derobert <i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bouguenais</i>	Invité 11h30	6
Réflectométrie radar en air clair des turbulences de sillage : réflexion d'ondes EM en bande X sur des structures spirales F. Barbaresco ¹ , A. Jeantet ² et U. Meier ² ¹ Dép. Stratégie, Technologie & Innovation, Thales Air Systems, Unité Surface Radar ² Thales Defence Deutschland GmbH, Land & Joint Division	12h10	8
Repas	12h35–14h00	
Réflexion d'ondes élastiques par une population de diffuseurs aléatoirement répartis. Discussion sur la description de milieux hétérogènes par des milieux homogènes équivalents. O. Poncelet et C. Aristégui <i>Laboratoire de Mécanique Physique, Bordeaux</i>	Invité 14h00	9
Ondes ultrasonores en milieu diffusant : distribution des valeurs singulières de la matrice de propagation et applications à la détection de cible A. Aubry et A. Derode <i>Laboratoire Ondes et Acoustique–ESPCI, Paris</i>	14h40	10

Distribution aléatoire de diffuseurs élastiques dans un fluide parfait : comment déterminer un milieu effectif équivalent du point de vue des ultrasons ?	15h05	11
Francine Luppé ¹ et Jean-Marc Conoir ²		
¹ <i>Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, FRE CNRS 3102, Le Havre</i>		
² <i>Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR CNRS 7190, Paris</i>		
Quel est le volume spatial autour d'une interface intervenant dans le processus de réflexion des ondes ?	Invité 15h30	12
N. Favretto-Cristini et Paul Cristini		
<i>Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille</i>		
Fin	16h10	

Lionel Pichon
 Laboratoire de Génie Electrique de Paris (CNRS-SUPELEC-UPS-UPMC), 11 rue Joliot-Curie,
 91192 Gif-sur-Yvette cedex, Tel/Fax : 01 69 85 16 58 / 01 69 41 83 18, pichon@lgep.supelec.fr

Marc Lambert
 Département de Recherche en Electromagnétisme - Laboratoire des Signaux et Systèmes (CNRS-SUPELEC-Univ Paris-Sud), 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, Tel/Fax : 01 69 85 15 67 / 01 69 85 17 65, lambert@lss.supelec.fr

Paul Cristini,
 Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, CNRS, 31 chemin Joseph-Aiguier 13402 Marseille cedex 20, Tel/Fax : 04 91 16 42 89 / 04 91 22 82 48, cristini@lma.cnrs-mrs.fr

Co-organisateurs et Animateurs des GT1 et GT3 – GDR ONDES

Contexte et application des méthodes de réflectométrie dans le cadre de l'activité du diagnostic de réseaux d'interconnexions câblés - Méthodes de diagnostic de câble embarquées dans les systèmes complexes

M. Olivas et A. Lelong

Laboratoire de Fiabilisation des Systèmes Embarqués, CEA-LIST, Saclay

Le diagnostic filaire a pour but la caractérisation et la localisation des défauts dans un réseau de câbles électriques de manière automatique. En s'appuyant sur le phénomène de propagation des signaux électriques dans les câbles on peut utiliser la réflectométrie pour réaliser ce diagnostic. Le principe est alors d'injecter un signal large bande sur le réseau de câble et de mesurer le retard et l'amplitude des échos résultant de la réflexion du signal propagé sur les différentes singularités (ou variations de l'impédance caractéristique du câble). Ces singularités peuvent correspondre à un changement de la nature ou de la géométrie du câble mais également à des défauts tels que des court-circuits ou des circuits ouverts (ou "faux contacts").

Le signal issu de cette mesure consiste en une somme d'échos, correspondant généralement à des impulsions, que l'on appelle réflectogramme. Lors de la mise en oeuvre d'un tel système de diagnostic, on se trouve confronté à plusieurs problématiques que sont l'utilisation de signaux hautes fréquences nécessaires à une bonne précision de la localisation mais également à l'interprétation finale du réflectogramme. En effet, il est nécessaire de mettre en oeuvre divers algorithmes afin de distinguer les singularités propres à la topologie du réseau de celles liées à un défaut. Des méthodes de déconvolution sont également utilisées afin d'augmenter la précision de la localisation au delà des limitations fréquentielles du signal injecté.

Enfin un dernier paramètre essentiel du diagnostic filaire est la compatibilité électromagnétique (CEM). Cela intervient principalement lorsque l'on fait du diagnostic en ligne. Le but du diagnostic en ligne consiste à effectuer la mesure en permanence lorsque le système cible est en fonctionnement. Or cette mesure implique l'injection de signaux dans les câbles ce qui constitue une perturbation pour ce système. De la même manière les signaux natifs liés au fonctionnement du système cible perturbent la mesure. Différents dispositifs de traitement du signal s'imposent alors afin de dissocier les signaux de réflectométrie des signaux natifs.

Résumé 1

REFLECTOMETRIE A FAIBLE COHERENCE APPLIQUEE A LA CARACTERISATION DE GUIDES OPTIQUES

**Xavier CHAPELEAU
LCPC
Division MACOA
Route de Bouaye BP 4129
44341 Bouguenais**

La réflectométrie à faible cohérence est une technique interférométrique permettant la mesure du coefficient complexe de réflexion d'un composant en optique guidée. Autrement dit, les caractérisations spectrale et temporelle peuvent être obtenues simultanément.

La réflectométrie à faible cohérence permet en effet de mesurer le coefficient de réflexion en amplitude et le temps de groupe d'un guide optique. La dispersion chromatique de fibres optiques et le temps de groupe de réseaux de Bragg et de multiplexeurs/démultiplexeurs optiques ont ainsi été obtenus à l'aide d'un système interférométrique de mesure. De plus, les résultats de l'étude de réseaux de Bragg étalons du *National Institute of Standards and Technology* (NIST) ont démontré la très bonne répétabilité et la grande précision des mesures du coefficient complexe de réflexion effectuées à l'aide de cette technique.

Associée à un algorithme d'inversion, la réflectométrie à faible cohérence permet également de déterminer le profil d'indice de réseaux de Bragg fibrés. Cette technique a été étudiée pour différents types de réseaux de Bragg : uniformes et « *chirpées* ». L'ensemble de ces études a permis de démontrer la validité et la précision des profils d'indice reconstruits.

Enfin, les réseaux de Bragg sont connus pour être d'excellents capteurs de déformations et de température. En mesurant le décalage de la longueur d'onde de Bragg, ces différentes grandeurs peuvent mesurées à la condition qu'elles soient uniformes le long du réseau. Afin de mesurer un champ de déformations ou un gradient de température, une méthode originale, basée sur la reconstruction du profil d'indice, a été développée et testée avec succès.

L'exposé scientifique aura pour objet la présentation de la réflectométrie à faible cohérence appliquée à la caractérisation de composants optiques fibrés. Le principe de la technique sera tout d'abord rappelé avant de discuter de la répétabilité et de la précision des mesures du coefficient complexe de réflexion. Ensuite, la technique de reconstruction du profil d'indice de réseaux de Bragg sera abordée et illustrée par quelques exemples de résultats de mesures remarquables. Enfin, une nouvelle méthode de mesure d'un champ de déformations et d'un gradient de température à l'aide d'un réseau de Bragg fibré sera décrite. L'exposé se terminera sur la présentation de résultats expérimentaux obtenus par cette méthode.

Résumé 2

Modélisation dédiée à la réflectométrie pour le diagnostic de câblages.

M. K. SMAIL, L. PICHON

LGEP, Laboratoire de Génie Electrique de Paris, UMR 8507 CNRS, SUPELEC, Université Paris-Sud, Université Pierre et Marie Curie, 11 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, France

La fiabilité du câblage au sein des véhicules automobiles, trains, avions et d'autres moyens de transports prend une importance cruciale compte tenu de l'augmentation croissante de l'électronique embarquée. Comme les câbles vieillissent, ils deviennent cassants et exposés à plusieurs dégradations. Cela conduit à l'apparition de défauts. Selon le domaine d'application, les défauts de câbles peuvent avoir des conséquences catastrophiques. Les réseaux de câblages peuvent être affectés par deux types de défauts : les défauts non francs sont créés par un changement d'impédance le long de la ligne dû à une simple déformation dans le fil. Les défauts francs sont du type court-circuit ou circuit ouvert.

Il existe plusieurs méthodes pour tester les réseaux de câblage. La réflectométrie est l'une des méthodes les plus prometteuses. Elle fonctionne sur le même principe que celui du radar : une impulsion ou un échelon est transmis sur un fil. Toute discontinuité (fissure, défaut, court-circuit, circuit ouvert) se comporte comme un obstacle à cette onde incidente et provoque une réflexion. Cette méthode fournit des informations pour la détection, la localisation et la caractérisation de défauts.

Nous proposons une méthode efficace pour la détection, caractérisation et localisation des défauts dans les réseaux filaires affectés utilisant la réflectométrie dans le domaine temporel et les algorithmes génétiques. Dans la première étape on décrit un modèle de propagation d'une onde électromagnétique le long d'une ligne de transmission dans le domaine temporel : le modèle est basé sur les équations des télégraphistes, où les paramètres électriques par unité de longueur R , L , C et G sont calculés par la méthode des éléments finis (FEM). Les équations de propagation d'onde sont résolues par la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD). Afin de résoudre le problème inverse, les algorithmes génétiques sont utilisés pour minimiser l'erreur entre le réflectogramme et la réponse donnée par le modèle direct.

Résumé 3

La réflectométrie radar appliquée en génie civil et géophysique

Xavier Derobert

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bouguenais

Les applications classiques radar en génie civil et géophysique portent principalement sur la caractérisation géométrique interne des structures ou sol. Ces systèmes impulsionsnels (sauf exceptions) disposent d'antennes très large bande, dont la fréquence centrale – et longueur d'onde – est compatible avec les profondeurs de pénétration et les résolutions demandées. Les recherches actuelles menées par les différents laboratoires de recherches, publics ou privés, s'orientent vers la caractérisation des matériaux eux-mêmes, tant les milieux dans lesquels se propagent les ondes radar que les objets/hétérogénéités/pathologies à détecter.

Il existe deux familles d'antennes. Les antennes couplées à l'air, principalement pour des applications routières, présentent l'avantage d'avoir un rayonnement dipolaire sur une large bande de fréquence et donc de permettre la modélisation de la propagation des signaux dans une structure ou sol. On peut alors inverser les signaux pour remonter à la nature diélectrique voire épaisseur des couches de surface (Lambot et al., *Vadose Zone Journal* 2004 ; .Kooper et al., congrès IWAGPR 2007 ; Thèse F. Liu 2007).

La seconde famille d'antenne, couplée au sol et généralement de la famille des antennes papillons, peut également être modélisée, pour chaque fréquence, comme un dipôle. Le problème majeur est que le lobe de rayonnement d'antenne est fortement dépendant du milieu avec lequel elle est couplée. La problématique d'inversion des signaux radar pour remonter à la caractérisation EM des hétérogénéités détectées est alors plus complexe et pour la majeure partie des applications de génie civil mal résolue, même si quelques résultats prometteurs ont été montrés pour l'application de la caractérisation de fractures dans des massifs rocheux (thèse C. Grégoire 2001 ; thèse M. Jeannin 2005).

Résumé 4

Réfléctométrie Radar en air clair des turbulences de sillage : Reflexion d'ondes EM en bande X sur des structures spirales

F. BARBARESCO

Département Strategie, Technologie & Innovation
Thales Air Systems, Unité Surface Radar
Hameau de Roussigny, 91470 Limours, France
frederic.barbaresco@thalesgroup.com

I. INTRODUCTION

Nous présentons dans cet article les résultats des campagnes de mesures Radar 2006 et 2007 à l'aéroport d'Orly et de Juin 2008 à l'aéroport Paris-CDG. Ces campagnes de mesures radar en bande X avaient pour objectif d'estimer les capacités de télédétection en air clair à courte distance (inférieur à 2000 m) des turbulences de sillages générées par les avions de ligne. Les essais positifs et concluants permettent de proposer des campagnes supplémentaires et le développement d'un radar prototype dédié à cette tâche dans le cadre du programme européen SESAR. Ces campagnes de mesures financées par THALES ont été effectuées en coordination avec EUROCONTROL, ADP et la DSNA.



Figure 1 : Comportements typiques des turbulences de sillage

II. RETRO-PROPAGATION RADAR DES TURBULENCES DE SILLAGE EN AIR CLAIR A BASSE ALTITUDE

Durant les années 90, différentes campagnes de mesures radar ont été faites en France, en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, et ceci dans différentes bandes de fréquences radar (bandes VHF/UHF/L/S/C/X). Les résultats des campagnes aux Etats-Unis sont résumés dans l'article de K. Shariff & A Wray [1]. En Europe, en 1992, des mesures furent réalisées par Sheppard (GEC-Marconi) avec un radar en bande S en Angleterre et par Bertin (CNRS/CRPE) en France avec le radar Proust à 961 MHz. Ces campagnes de mesure des turbulences de sillage en air clair furent positives et des détections furent obtenues jusqu'à plusieurs kilomètres. Il fut observé à l'époque que la surface équivalente radar des rouleaux engendrés par ces turbulences variait peu avec la fréquence. Cette réflexion électromagnétique ne semblait pas

A. JEANTET, U. MEIER

Thales Defence Deutschland GmbH
Land & Joint Division, Pforzheim, Germany
alain.jeantet@de.thalesgroup.com
uwe.meier@de.thalesgroup.com

provenir des particules présentes dans les basses couches de l'atmosphère (pas de dépendance en f^4 de type Rayleigh). Cette signature ne présentait pas non plus de dépendance en $f^{7/3}$ de type Kolmogorov, pour des turbulences classiques.

Enfin, l'influence du flux des réacteurs sur la signature des turbulences (par exemple, la vapeur d'eau sortant des réacteurs) fut écartée, car la réponse était insensible à un régime forcé ou un arrêt des réacteurs. Nous verrons que nous avons trouvé des résultats comparables avec notre campagne en bande X. A l'heure actuelle, les causes les plus vraisemblables de la retro-propagation des turbulences de sillage sont attribuées à des gradients d'indice générés par des fluctuations importantes et locales de la température et de la pression.

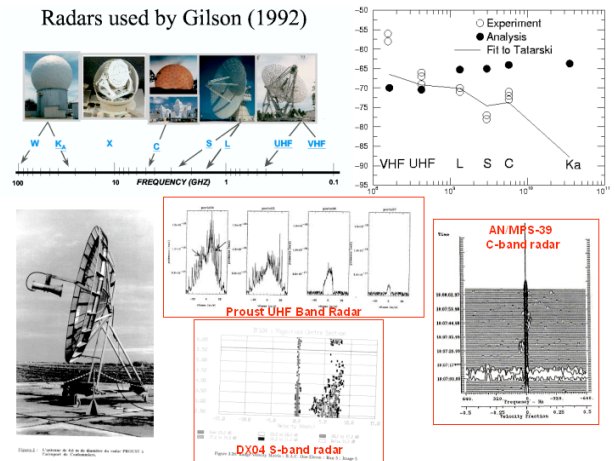


Figure 2 : Illustrations des campagnes de mesures Radar dans les années 90

Deux mécanismes sont principalement mis en cause [1]:

- **Gradient de densité radial dans le cœur des vortex** le cœur de chaque vortex possède une densité plus faible et par conséquent un indice de réfraction plus faible. Le gradient de pression radial dans chaque colonne de vortex est généré par un flot rotationnel. La surface équivalente radar dépend de l'équilibre entre le gradient de pression radial et les forces centrifuges.

$$(n-1) \cdot 10^6 = 77.6 \left(\frac{P_a}{T} \right) + 64.8 \left(\frac{P_v}{T} \right) + 3.776 \cdot 10^5 \left(\frac{P_v}{T^2} \right)$$

avec $\begin{cases} n : \text{indice de réfraction de l'air humide au dessous de } 20 \text{ GHz} \\ P_a : \text{pression partielle (mb) de l'air sec} \\ P_v : \text{pression partielle (mb) de vapeur d'eau} \\ T : \text{température (K), } T_0 = 288 \text{K} \end{cases}$

$$\frac{P(r)}{P_\infty} = \left(\frac{\rho(r)}{\rho_\infty} \right)^\gamma = \left(1 - (\gamma-1) \int_r^\infty \frac{1}{r} \frac{V_\theta^2}{c_\infty^2} dr \right)^{\gamma/(\gamma-1)}, V_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r} \begin{cases} (r^2/r_0^2), & r < r_0 \\ 1, & r \geq r_0 \end{cases}$$

avec $\begin{cases} \rho(r) : \text{densité dans chaque vortex} \\ \rho_\infty : \text{densité ambiante} \\ c_\infty : \text{vitesse son ambiante (341 m/s)} \end{cases}$ et $\frac{T(r)}{T_\infty} = \left(\frac{P(r)}{P_\infty} \right) \left(\frac{\rho(r)}{\rho_\infty} \right)^{-1}$

- **Transport du fluide atmosphérique** dans l'ovale entourant les deux vortex. Cet ovale transporte de l'air de la haute vers la basse altitude. Lors de sa descente, le fluide dans l'ovale se comprime adiabatiquement en réponse à l'augmentation de pression ambiante:

$$[\tilde{n}(z) - \bar{n}(z)]10^6 = 223[\tilde{\rho}(z) - \bar{\rho}(z)] + 76.7[\tilde{\rho}_v(z) - \bar{\rho}_v(z)] + 1.75 \cdot 10^6 \left[\frac{\tilde{T}_v(z)}{\bar{T}(z)} - \frac{\bar{\rho}_v}{\bar{T}(z)}(z) \right]$$

$$= -\frac{\bar{\rho}(z)N^2}{g} \Delta z \left[223 + \frac{RH(z)P_{sat}(T_z)}{\bar{P}(z)} \left(76.7 + \frac{3.49 \cdot 10^6}{\bar{T}(z)} \right) \right]$$

avec $\begin{cases} N : \text{fréquence de Brünt-Väisälä (stratification)} \\ \text{au niveau Mer : } N = 0.014s^{-1} \text{ (été)} \quad N = 0.02s^{-1} - 0.03s^{-1} \text{ (hiver)} \\ \Delta z : \text{variation Altitude} \\ P = P_a + P_v \end{cases}$

III. CAMPAGNES RADAR : AEROPORTS D'ORLY & CDG

En 2006, nous avons réalisé une campagne de mesure radar en bande X (9.26 GHz) à 500 m des pistes sur les avions moyens au décollage. Nous avons mesuré une SER de 0.01 m² quelques soient les conditions météorologiques (temps de pluie ou air clair). Les signatures Doppler étaient cohérentes avec la géométrie spirale des rouleaux des turbulences de sillage des avions de ligne.

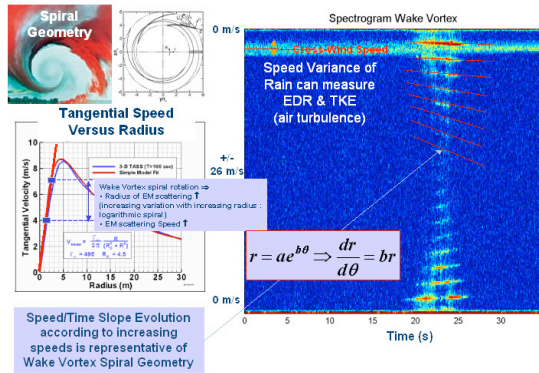


Figure 3 : Signature Temps/Doppler d'un vortex d'avion

Nous avons montré qu'il est possible de mesurer la force du vortex, exprimé en terme de circulation en m²/s :

$$\Gamma = \frac{M \cdot g}{(\rho \cdot V \cdot s \cdot B)} \propto \left[2 \int_{V_{min}}^{V_{max}} V_i^2 [S(V_i)]^{2/3} dV_i \right] / \left[\int_{V_{min}}^{V_{max}} [S(V_i)]^{2/3} dV_i \right]$$

avec M la masse de l'avion, V sa vitesse, B son envergure, g la gravitation, ρ la densité de l'air et s un facteur égale à $\pi/4$.

En 2007, nous avons mis en place des mesures en scanning vertical à 1500 m d'altitude sur les avions en approche sur Orly, et avons visualisé la télédétection des vortex qui descendent naturellement à plusieurs m/s. Ces essais ont validé les modèles de vitesse radiale dans le cœur du vortex :

$$v_\theta(r) = \frac{\Gamma_0}{2\pi r} \left(1 - e^{-r/B} \right)$$

Résumé 5

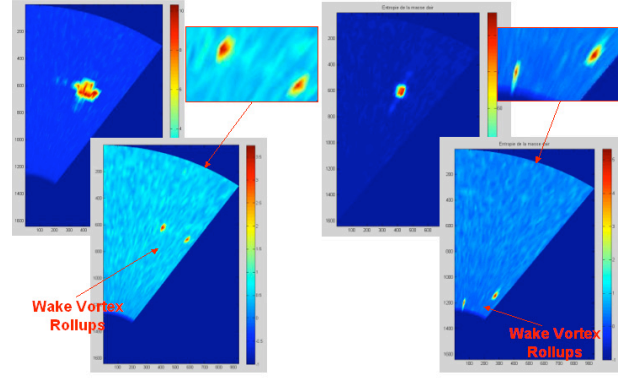


Figure 4 : télédétection des turbulences de sillage à 1500 m d'altitude sur les avions en approches sur Orly

En 2008, le radar bande X a été installé sur le toit de l'aéroport Paris-CDG, pour des mesures co-localisées avec le lidar Eurocontrol, le long des pistes au décollage et à l'atterrissage.



Figure 5 : Campagne de mesures Lidar/Radar sur Paris-CDG

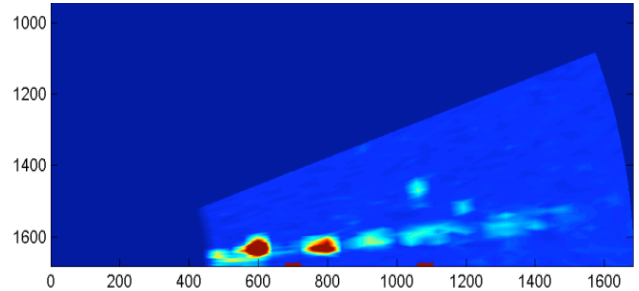


Figure 6 : télédétection des vortex à l'atterrissage & décollage

REFERENCES

- [1] K. Shariff, "Analysis of the Radar Reflectivity of Aircraft Vortex Wakes", J. Fluid Mech., vol.463, pp.121-161, 2002
- [2] F. Barbaresco & al "Wake Vortex Monitoring & Profiling by Doppler X-band Radar in all weather conditions", 6th Eurocontrol Innovation Workshop, France, December 2007
- [3] F. Barbaresco & U. Meier, "Wake Vortex Profiling by Doppler X-Band Radar : Orly Trials at Initial Take-off & ILS Interception Critical Areas", IEEE Int. Radar Conf., RadarCon'08, Rome, May 2008
- [4] F. Barbaresco, & U. Meier, "Study of wake vortex roll up spiral geometry based on Radar Trials", Int. Workshop on Fundamental Issues Related to Aircraft Trailing Wakes, Marseille, May 2008

Réflexion d'ondes élastiques par une population de diffuseurs aléatoirement répartis. Discussion sur la description de milieux hétérogènes par des milieux homogènes équivalents.

Olivier Poncelet et Christophe Aristégui

Laboratoire de Mécanique Physique, UMR CNRS 5469
351, cours de la Libération
33405 TALENCE CEDEX

Résumé

Par la théorie de diffusion multiple, il est possible d'évaluer des propriétés acoustiques homogènes équivalentes (nombre d'onde effectif par exemple) d'un milieu hétérogène constitué d'une population de diffuseurs aléatoirement répartis dans une matrice homogène. Dans le cadre de la description de la propagation d'ondes cohérentes en milieu infini, le nombre d'onde effectif à valeurs complexes seul est suffisant pour déterminer la célérité de phase et l'atténuation. Néanmoins, pour des problèmes avec conditions aux limites, d'autres caractéristiques effectives (telles l'impédance acoustique) sont nécessaires à la résolution complète du problème « homogénéisé » n'impliquant que des ondes cohérentes. Toutes ces propriétés effectives sont des quantités dynamiques (dépendantes de la fréquence).

Ces dernières années, différentes approches ont permis d'obtenir des paramètres mécaniques effectifs et dispersifs comme la masse volumique ou les raideurs du milieu homogène équivalent. Si ces quantités sont directement issues d'un cadre formel (la théorie de diffusion multiple), il n'en reste pas moins que la validité de ces paramètres n'est pas assurée dès que l'on s'éloigne du régime quasi-statique et de façon plus générale lorsque ces propriétés dynamiques sont utilisées dans des problèmes impliquant des conditions à des interfaces : réflexion/transmission, ondes de surface...

Dans le but de quantifier la validité d'une telle description de matériaux hétérogènes en acoustique, seules des comparaisons entre les résultats issus de la théorie de diffusion multiple et des résultats expérimentaux (ou des résultats obtenus par d'autres techniques de calculs), peuvent initier un début de réponse. C'est l'objet de cette communication dont le principal but est de confronter la théorie de diffusion multiple à des expériences numériques.

Le cadre applicatif de ce travail est la réflectivité d'une population de diffuseurs (fissures plates, cavités, inclusions) noyés dans une matrice élastique, abordée d'une part à travers l'homogénéisation dynamique issue de la diffusion multiple, et d'autre part au moyen d'une série de calculs déterministes de champs (code FDTD) à laquelle on restitue le caractère aléatoire en effectuant un tirage différent des positions des diffuseurs pour chaque simulation. Le champ moyen (ici champ cohérent) est alors simplement obtenu en effectuant la moyenne des champs de chaque simulation. Ces données servent alors de matière première pour le calcul des coefficients de réflexion et de transmission, et pour l'analyse des différentes configurations envisagées : couche de fissures uniformément ou non uniformément (loi gaussienne) réparties ; notion d'épaisseur pour une couche de diffuseurs de volume non nul (cavités) ; couche de diffuseurs inclus dans une matrice différente du milieu extérieur.

Ondes ultrasonores en milieu diffusant : distribution des valeurs singulières de la matrice de propagation et applications à la détection de cible

Alexandre AUBRY, Arnaud DERODE

Laboratoire Ondes et Acoustique
ESPCI, CNRS, Université Paris Diderot – Paris 7
10 rue Vauquelin
75005 PARIS

A l'aide d'un réseau d'émetteurs/récepteurs ultrasonores (\sim qqS MHz), nous enregistrons le champ rétrodiffusé par un milieu constitué de diffuseurs aléatoirement répartis. Nous étudions en particulier la distribution des valeurs singulières de la matrice de propagation[1,2]. Le spectre des valeurs singulières est comparé aux résultats issus de la théorie des matrices aléatoires. De façon intéressante, on observe un comportement radicalement différent selon que l'on est en régime de diffusion simple ou multiple.

De plus, nous montrons qu'un traitement matriciel permet de séparer les contributions des ondes simplement et multiplement diffusées. Nous présentons une application de cette idée à la détection de cible en milieu diffusant, en exploitant la séparation entre contributions de diffusion simple et multiple, sur une expérience prototype. Une fois les ondes reçues « nettoyées » de la diffusion multiple, la méthode DORT (Décomposition de l'Opérateur de Retournement Temporel, mise au point par Claire Prada au LOA) permet de détecter la position d'une cible placée derrière un milieu diffusant d'épaisseur typique égale à trois libres parcours moyens, ce qui était a priori impossible à cause de la diffusion multiple engendrée par la couche diffusante.

[1] Aubry A, Derode A , Random Matrix Theory Applied to Acoustic Backscattering and Imaging In Complex Media, Phys. Rev. Lett., 102, 8 , Article Number: 084301, 2009

[2] <http://arxiv.org/abs/0904.0161>

Résumé 7

Distribution aléatoire de diffuseurs élastiques dans un fluide parfait : comment déterminer un milieu effectif équivalent du point de vue des ultrasons ?

Francine Luppé^(a), Jean-Marc Conoir^(b)

^(a) Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, FRE CNRS 3102, Groupe Ondes Acoustiques, Université du Havre, place R. Schuman, 76610 Le Havre

^(b) Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR CNRS 7190, Université Paris 6, tour 55-65, 4 place Jussieu, 75005 Paris

Quand une onde plane ultrasonore se propageant dans un fluide parfait rencontre une distribution aléatoire de faible densité de diffuseurs, il est d'usage de définir l'onde cohérente, issue de la moyenne du champ total, somme du champ incident et de tous les champs diffusés, prise sur toutes les configurations spatiales possibles des diffuseurs. Cette onde cohérente, plane, est caractérisée par un nombre d'onde complexe, appelé nombre d'onde effectif, qui revêt différentes expressions selon les auteurs et les approximations utilisées. Toutes ces expressions néanmoins sont identiques au 1^{er} ordre en n_0/k^2 , où n_0 représente le nombre de diffuseurs par unité de surface et k le nombre d'onde de l'onde incidente. Si les diffuseurs occupent un semi-espace plan, délimité par une interface plane fictive, il est possible de calculer le champ cohérent réfléchi à cette interface. L'identification du coefficient de réflexion ainsi obtenu à celui entre deux milieux fluides permet de définir la masse volumique et le module de compressibilité du fluide équivalent (dit fluide effectif) à l'ensemble des diffuseurs. Cette approche, conduite pour une onde incidente normalement sur l'interface, a conduit à la définition d'une masse volumique effective et d'un coefficient de compressibilité effectif complexes et dépendant de la fréquence. Nous présentons ici les résultats d'une étude similaire, menée pour une onde sous incidence quelconque. La masse volumique effective trouvée pour des diffuseurs cylindriques à section circulaire dépend alors de l'angle d'incidence. Nous discutons les raisons susceptibles d'expliquer ce résultat apparemment non physique et nous examinons les moyens envisagés pour remédier à cette difficulté.

Résumé 8

Quel est le volume spatial autour d'une interface intervenant dans le processus de réflexion des ondes ?

Nathalie FAVRETTO-CRISTINI et Paul CRISTINI

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille

Contact : favretto@lma.cnrs-mrs.fr , cristini@lma.cnrs-mrs.fr

En exploration sismique les techniques dites d'AVA (Amplitude Variation with Angle) utilisent la variation de l'amplitude des ondes réfléchies en fonction de l'angle d'incidence pour contraindre la localisation des interfaces et l'estimation des propriétés du sous-sol. Dans la mesure où la structure des milieux peut être complexe dans la gamme de fréquences sismiques (typiquement, entre 5 et 60 Hz), retrouver leurs caractéristiques est souvent une tâche assez ardue. Résoudre un tel problème inverse implique qu'ait été développé au préalable un modèle fiable de propagation des ondes. La littérature montre que bon nombre d'études sont réalisées soit dans le cadre de la théorie des rayons, soit dans le cadre de la théorie des ondes planes. En particulier, l'amplitude des signaux réfléchis enregistrés aux capteurs est évaluée à partir des caractéristiques du sous-sol (présence des hétérogénéités...) et de la réflectivité des interfaces (généralement décrite par le coefficient de réflexion des ondes planes (équations de Zoeppritz)) après compensation de la divergence géométrique. Rappelons que les hypothèses sous-jacentes à la théorie des ondes planes et aux équations de Zoeppritz sont la fréquence infinie et la bande passante infinie des signaux. Or, les signaux sismiques sont des signaux à bande limitée et, surtout, à contenu fréquentiel BF. La question légitime qui se pose alors est la suivante : peut-on raisonnablement ignorer le contenu fréquentiel BF des signaux sismiques sans altérer la qualité de la modélisation de la propagation des ondes et l'estimation des propriétés du sous-sol ?

Nous nous proposons de répondre à cette question pour un cas académique, mais néanmoins révélateur, i.e. pour le cas de deux milieux élastiques, homogènes et isotropes en contact. Dans un 1^{er} temps, nous montrons qu'une région spatiale autour de l'interface affecte réellement la réponse de cette dernière, et donc le champ d'onde réfléchi. Son extension latérale maximale correspond à la Zone de Fresnel à l'interface (ZFI), tandis que son extension verticale maximale peut quelquefois dépasser une longueur d'onde sismique. Pour un synclinal (respectivement, un anticlinal), cette région est plus grande (respectivement, plus petite) que celle décrite pour une interface plane. Dans un 2nd temps, nous montrons l'importance de la ZFI sur la modélisation directe de la propagation des ondes et sur l'estimation des propriétés du sous-sol. Enfin, nous discutons succinctement de la définition d'un réflecteur sismique dans le cas de milieux géologiques plus complexes.

Quelques références :

Favretto-Cristini N., Cristini P. and de Bazelaire E. (2009) What is a seismic reflector like? *Geophysics* 74(1), T13-T23.

Favretto-Cristini N., Cristini P. and de Bazelaire E. (2008) On the influence of the Interface Fresnel zone for estimating media parameters from seismic Amplitude-versus-Angle curves. In *Theoretical and Computational Acoustics 07*, M. Taroudakis and P. Papadakis (eds), 139-148.

Favretto-Cristini N., Cristini P. and de Bazelaire E. (2007) Influence of the Interface Fresnel zone on the reflected P-wave amplitude modelling. *Geophysical Journal International* 171, 841-846.

Favretto-Cristini N., Cristini P. and de Bazelaire E. (2007) Some reflections on reflectors and wave amplitudes. *Acta Acustica united with Acustica* 93(6), 909-916.

Résumé 9