



Titre: Etude de la Réverbération dans un Milieu Bicouche : Application à la Mesure des Paramètres Viscoélastiques d'un Sol-Gel.

Directeur de thèse : Jérôme FORTINEAU, HDR à l'INSA Centre Val de Loire.
Laboratoire GREMAN UMR 7347. (jerome.fortineau@insa-cvl.fr)

Co-directeur de thèse : Doumit ZAOUK, Professeur à l'Université Libanaise.
Laboratoire LPA. (doumitzaouk@ul.edu.lb)

Encadrants de thèse :

- Julien BUSTILLO, Maître de conférences à l'INSA Centre Val de Loire. Laboratoire GREMAN UMR 7347. (julien.bustillo@insa-cvl.fr)
- Hossep ACHDJIAN, Maître de conférences à l'INSA Centre Val de Loire. Laboratoire GREMAN UMR 7347. (hossep.achdjian@insa-cvl.fr)

Laboratoires :

- Laboratoire GREMAN UMR 7347, pôle acoustique et piézoélectricité (INSA Centre Val de Loire)
- Laboratoire LPA, Université Libanaise
-

Demi-financement coté INSA/GREMAN (pour les séjours en France) : Bourse doctorale co-financée 2019 auprès de la Région

Description du laboratoire GREMAN :

Le GREMAN est un laboratoire sous tutelle de l'Université de Tours, du CNRS et de l'INSA Centre Val de Loire, spécialisé dans la caractérisation ultrasonore (pôle Acoustique et piézoélectricité).

L'évaluation non destructive est actuellement une thématique de recherche active, aussi bien dans le milieu industriel que médical. De nombreuses techniques permettent actuellement l'évaluation de l'intégrité d'un matériau ou d'une pièce, notamment les ondes ultrasonores ou électromagnétiques par exemple. Chaque méthode présentent des avantages (précision spatiale, simplicité, paramètres mesurables, etc...) et des inconvénients (nocivités, atténuation, etc...). Au sein du pôle A&P du laboratoire GREMAN, la caractérisation non destructive (CND) des matériaux complexes est basée sur l'étude des ondes ultrasonores ayant interagies avec le milieu évalué. Cette méthode est totalement non invasive. Une autre composante du pôle est l'étude des propriétés électriques et mécaniques des matériaux piézoélectriques afin d'améliorer leurs propriétés fonctionnelles, nécessaire pour améliorer la transduction et la conversion d'énergie.

Dans ce contexte, le sujet proposé est en adéquation avec la stratégie scientifique du GREMAN et s'inscrit pleinement dans une thématique du laboratoire visant à développer des nouvelles techniques de la caractérisation ultrasonore et à caractériser des milieux complexes (au cours ou après fabrication) avec des techniques non destructif.

Descriptif du sujet:

Le suivi de l'état d'un matériau au cours de sa transformation (comme par exemple un changement de phase) est un enjeu important pour les entreprises, surtout dans les domaines de l'agroalimentaire (fermentation des produits laitiers) et les fabrications industrielles (changement des propriétés mécaniques des polymères ou de texture des crèmes en cosmétique). Actuellement, des recherches sont concentrées sur la surveillance des propriétés élastiques de produits sol-gel pendant sa transition en fonction de la température. Il existe des méthodes acoustiques classiques basées sur l'étude de la vitesse de propagation des ondes et leurs atténuations pour étudier les changements de phase et/ou la viscosité des produits en cours de fabrication. Cependant ces méthodes ne permettent une étude que sur le chemin de propagation, et restent donc locales [1].

Dans un milieu à faible atténuation acoustique, la présence d'un grand nombre de réflexions engendre des signaux acoustiques qualifiés de réverbérés. Ces signaux complexes sont constitués de trois parties : les paquets d'ondes correspondant aux trajets directs des sources vers les récepteurs sont suivis de ceux dus aux premières réflexions. Ceux-ci dépendent directement des positions des sources et des récepteurs, ainsi que des propriétés locales du milieu de propagation entre eux. La troisième partie est la queue du signal (ou coda), constituée des réflexions d'ordres élevés. Ces dernières accumulent au cours de la propagation des informations sur la totalité du milieu et perdent peu à peu l'influence des propriétés locales. Ainsi, les informations locales sur l'état du milieu ne peuvent pas être en général déduites des codas des signaux acoustiques de longue durée, ou alors au prix de traitements particuliers et relativement complexes appliqués sur des réalisations particulières (retournement temporel, corrélation de bruits, etc.). C'est pourquoi la majorité des techniques usuelles de CND ultrasonore ne s'intéressent qu'aux premiers paquets d'onde et considèrent les codas comme un résidu inutile, voir un bruit de mesure.

Ces codas sont pourtant reproductibles et se caractérisent par un comportement moyen lié à des propriétés globales du milieu. Un exemple bien connu en acoustique des salles est le fait que le temps de réverbération (RT) soit directement lié à l'absorption par les parois (Formule de Sabine).

Des études menées récemment sur la moyenne des enveloppes de ces signaux montrent que la propagation acoustique dans un milieu solide fini à forte réverbération contient des informations potentiellement utiles sur les propriétés structurales du milieu complexe (propriétés globales et locales) [2], [3].

Dans ce contexte, une méthode complémentaire, basée sur l'étude du temps de réverbération des moyennes des signaux réverbérés, a été développée au sein du GREMAN afin d'évaluer le changement de phase du milieu global. Pour valider la méthode, des essais ont été effectués sur le salol (transitions solide-liquide et liquide-solide) et l'agar-agar (gélifiant : liquide-gel). Les résultats préliminaires (Figure 1), qui permettent de voir une transition de phase, sont encourageants [4], [5].

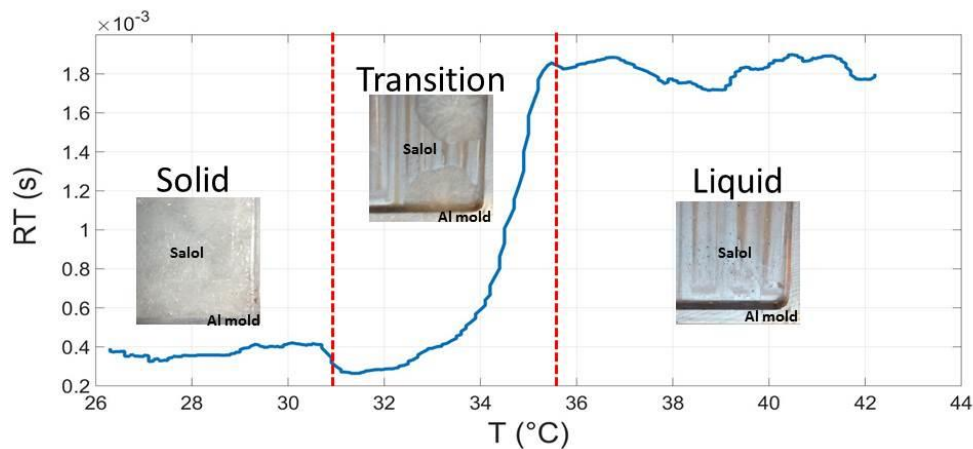


Figure 1 : Temps de réverbération (RT) en fonction de la température dans le cas du Salol. La transition de phase entre liquide (Gauche) et solide (Droite) est caractérisée par une variation importante de RT.

Cette thèse sera consacrée à l'étude théorique, numérique et expérimentale de la propagation des ondes élastiques guidées dans un milieu réverbérant. Ainsi, le travail de thèse proposé s'organisera suivant les tâches définies ci-dessous :

- Etude théorique sur les phénomènes physiques liés à la propagation acoustique diffuse dans les structures (ici, bicouche : solide-solide, solide-liquide et solide-gel) à caractère réverbérant et/ou multi-diffusant afin de lier les paramètres acoustiques aux paramètres du milieu étudié.
- Adaptation de la formule de Sabine afin d'établir une relation entre le temps de réverbération, la transition de phase et la viscosité et/ou les paramètres viscoélastiques du sol-gel étudié.
- Validation du modèle théorique par une étude numérique.
- Conception des stratégies de traitement des données acoustiques :
 - Algorithmes de classification,
 - détermination des paramètres acoustiques,
 - compatibilité des traitements avec les contraintes du milieu et la basse consommation.
- Mise en place du dispositif et exploitation des mesures expérimentales pour valider la théorie et déterminer d'une part le changement de phase (liquide-solide / liquide-gel / solide-gel) en fonction du temps (et/ou de la température) et d'autre part la viscosité et/ou les paramètres viscoélastiques du sol-gel étudié.

Ce sujet de recherche se fera dans le cadre d'un partenariat avec le Laboratoire LPA au Liban.

Références bibliographiques en relation avec le sujet de thèse proposé

- [1] Julien Bustillo, Hossep Achdjian, Andres Arciniegas, & Laurianne Blanc. *Simultaneous determination of wave velocity and thickness on overlapped signals using Forward Backward algorithm. NDT & E International*, 86, 100-105, 2017.
- [2] Hossep Achdjian, Julien Bustillo, Andres Arciniegas, Nicole Doumit, & Laurianne Blanc (2018). *Contact surface fraction evaluation between aluminium and polymer using acoustic reverberation. Applied Acoustics*, 141, 208-212.
- [3] Hossep Achdjian, Emmanuel Moulin, Farouk Benmeddour, Jamal Assaad, Lynda Chehami. *Source Localisation in a Reverberant Plate Using Average Coda Properties and Early Signal Strength. Acta Acust. United Acust.*, 100, 5 (2014) 834-841.
- [4] Hossep Achdjian, Julien Bustillo, Laurianne Blanc, Andres Arciniegas, Nicole Doumit, Marc Lethiecq. *Phase Transition Characterization Based on Acoustic Reverberation Time, ASA Fall 2017, New Orleans, USA, 2017.*
- [5] Hossep Achdjian, Julien Bustillo, Andres Arciniegas, Jérôme Fortineau, Nicole Doumit, Laurianne Blanc. *Phase Transition Evaluation of a Medium Using Acoustic Reverberation Time. AFPAC2018, UK.*

Profil du candidat

Le (la) candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme de master recherche (BAC+5) dans l'une des spécialités suivantes :

- ✓ Electronique, microélectronique, nanotechnologies
- ✓ Physique appliquée

Au cours de son cursus, le (la) candidat(e) aura eu une expérience en électronique, acoustique, traitement de signal et instrumentation. Une bonne connaissance de ce domaine est essentielle à la réussite du travail à mener dans ce projet. Une compétence complémentaire dans un des domaines suivant serait grandement appréciée :

- Connaissances des logiciels Comsol (Modélisation des éléments finis) et Matlab (traitement du signal),
- Connaissances en instrumentation (pilotage des appareils et automatisation du dispositif),
- Maîtrise des outils mathématiques pour la propagation des ondes acoustiques et la modélisation de la propagation en bicouches.

Le (la) candidat(e) doit être intéressé(e) par un travail en équipe car il (elle) sera un lien essentiel au groupe de travail, faisant la liaison entre des personnes venant d'institutions différentes (LPA (Université Libanaise) et GREMAN (INSA)).

Planning prévisionnel de la thèse :

Echéancier

Les travaux de la thèse pourront s'articuler de la manière suivante :

1. Etude de l'état de l'art (mois 0-6) :

- Etude de la réverbération en acoustique des salles (Formule de Sabine et de Eyring)
- Analyse bibliographique sur la propagation acoustique diffuse dans les structures solides à caractère réverbérant et/ou multi-diffusant.
- Etude des techniques d'exploitations des signaux acoustiques de longues durées causés par des conditions de propagation complexes.
- Analyse bibliographique des techniques permettant d'étudier la viscoélasticité.

2. Développement de modèles analytiques et numériques (mois 0-24) :

- Etude de la propagation acoustique, cas bicouche.
- Approfondir les études sur la réverbération afin d'estimer la viscosité globale du milieu étudié.
- Adaptation de la formule de Sabine afin d'établir une relation entre le TR, la variation de phase et la viscosité.
- Déterminer les temps de réverbérations dans le cadre de milieux multicouches (couches réverbérantes et produits étudiés), voir figure2.

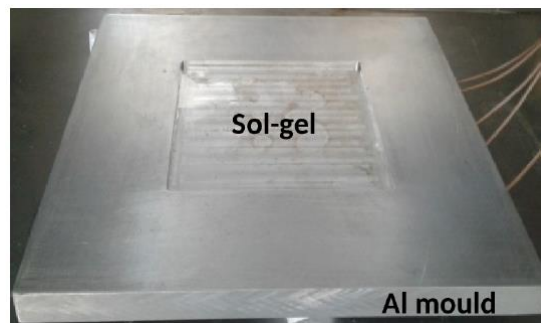


Figure 2. Moule d'aluminium (milieu réverbéré) et cavité sol-gel (produit étudié)

- Développer des modèles analytiques permettant de lier les paramètres acoustiques aux paramètres physiques du sol-gel.
 - Mise au point de procédures probabilistes d'extraction de caractéristiques, voire de résolution partielle de problème inverse, basés sur les résultats des tâches précédentes. Application à l'imagerie du milieu.
 - Validation du modèle théorique par une étude numérique.
- #### **3. Etude expérimentale et exploitations des résultats (mois 16-30) :**
- Mise en place d'instrumentation de mesure automatisée pour trouver les paramètres viscoélastique du sol-gel à partir des paramètres acoustiques.
 - Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques.

4. Rédaction du manuscrit de thèse et soutenance (mois 30-36) :

Les travaux de la thèse devraient nous permettre d'améliorer la compréhension physique de la propagation des ondes acoustiques dans des milieux multicouches. En cela, ils présentent un fort potentiel d'applications pratiques dans le domaine industriel. Ils devraient aussi sans aucun doute donner lieu à des publications d'articles dans des revues scientifiques internationales et à des communications orales lors de conférence.