

**Caractérisation Non Destructive de tubes hétérogènes complexes
par méthodes ultrasonores
Application à la Mesure de l'épaisseur résiduelle de l'âme tôle
de conduites en béton**

Directeur de thèse (LMA) : Jean-François Chaix / 04 13 94 62 76 / jean-francois.chaix@univ-amu.fr

Co-directeurs (LMA) : Jean Mailhé et Vincent Garnier

Tuteur industriel EDF : Jean-Marie Hénault / 06 17 72 82 79 / jean-marie.henault@edf.fr

Encadrant CEA : Arnaud Recoquillay / 01 69 08 55 34 / arnaud.recoquillay@cea.fr

Ecole doctorale : ED 353 - Sciences pour l'ingénieur - mécanique, physique, micro et nanoélectronique

Laboratoires d'accompagnement : LMA UMR7031, Aix Marseille Université, CNRS, Ecole Centrale
CEA Saclay (LIST/DISC/LMC)

1. Contexte et problématique

Les Conduites en Béton à Ame Tôle (CBAT) sont utilisées sur certains circuits de centrales nucléaires d'EDF afin d'assurer l'alimentation en eau de la source froide. Ces tuyauteries, qui pour certaines ont un diamètre de 60 cm, sont composées d'une structure sandwich avec une âme en acier de 2 à 3 mm d'épaisseur, insérée entre deux couches de béton d'environ 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Le béton extérieur est armé. L'âme tôle assure la fonction d'étanchéité et une partie de la résistance mécanique de la tuyauterie.

Les techniques de contrôle non destructif (CND) ont pour objectif la recherche et la caractérisation de défauts pouvant mettre en péril la pérennité d'une pièce manufacturée ou la sécurité d'une installation. Cela a le grand intérêt d'être fait de manière non intrusive afin de garantir leur conformité une fois intégrées dans leur environnement de fonctionnement. Devant la complexité croissante des structures industrielles et la nécessité de prédire avec justesse l'état de la structure, de nouvelles méthodes de CND sont continuellement développées.

Dans le cas d'installations de ces conduites en bord de mer, la corrosion de l'âme tôle de certains éléments a été observée. Les travaux menés depuis début 2000 sur ces tuyauteries ont permis d'expliquer les mécanismes de corrosion en jeu (corrosion par chlorures) et de définir une stratégie de maintenance opérationnelle [1]. Cette dernière est basée sur les résultats de l'inspection visuelle des tuyauteries qui peut mettre en évidence des fuites et des traces de corrosion, complétés par des mesures de potentiels électrochimiques pour évaluer l'étendue des dégradations. Une analyse post-mortem des tronçons de tuyauteries changés alimente le retour d'expérience. Les éléments recueillis ont mis en évidence que les mesures de potentiels électrochimiques sont sensibles au percement et à la corrosion de la partie extérieure de l'âme tôle. La méthode actuelle ne permet pas d'évaluer l'épaisseur résiduelle de l'âme tôle qui est la grandeur d'intérêt.

Du point de vue du CND, cette quantité est difficile à obtenir du fait des couches de béton l'enrobant et de la présence des armatures externes.

En effet, des études ont montré que les méthodes d'inspection par courants de Foucault permettraient de répondre à cette question mais seulement depuis l'intérieur de la tuyauterie car la présence d'armatures en acier dans la couche extérieure de béton empêche la mesure depuis l'extérieur. Par le passé, les méthodes ultrasonores n'ont pas été investiguées car les techniques classiques par ondes de volume se heurtent à la présence de béton très atténuant aux fréquences classiques d'inspection d'éléments métalliques fins (gamme du MHz).

Ainsi, aujourd'hui, il n'existe pas de méthode permettant de quantifier l'épaisseur résiduelle de l'âme tôle, depuis l'extérieur de la tuyauterie.

Les avancées récentes sur les ondes de volume dans les milieux multi-diffusants, sur une large gamme fréquentielle (de quelques kHz au MHz pour le béton et au-delà du MHz pour les aciers gros grains) montrent qu'il est possible de modéliser et propager des ultrasons dans de telles structures. Il est possible de prendre en compte le caractère diffusant et atténuant du béton dans les modèles de prévision du contrôle ultrasonore. De plus, la forme de tube doit permettre d'investiguer les ondes guidées qui présentent l'avantage de se propager sur des grandes distances. Cependant la structure multicouche du tube apporte une complexité supplémentaire rarement étudiée dans la littérature.

L'ensemble de ces éléments permet de confirmer le besoin de développer et valider de nouvelles techniques de CND pour ces structures et montre que les ultrasons présentent un potentiel intéressant à étudier et développer.

2. Approche envisagée

Compte tenu de la forme de la structure, l'aspect multicouche, l'hétérogénéité du béton ainsi que l'endommagement recherché sous forme de corrosion de l'âme tôle, deux pistes sont envisagées.

La première repose sur l'utilisation des ondes de volume. La faible épaisseur de l'âme tôle impose de travailler dans une gamme haute fréquence (de l'ordre du MHz à quelques MHz), l'épaisseur limitée de la couche extérieure de béton permettrait la transmission de hautes fréquences. Les travaux sur la modélisation de la propagation des ondes ultrasonores dans le béton [2] et ceux en traitement du signal sur le filtrage de bruit diffus pourraient être mis à profit pour optimiser la technique [3]. La qualité de l'interface en présence d'aciers sains ou corrodés doit conduire à des réponses ultrasonores différentes qu'il conviendra d'identifier.

La seconde repose sur l'utilisation d'ondes guidées, différents modes peuvent être générés dans de telles structures et la présence de corrosion peut affecter ces modes. Les résultats de simulation sur des outils existants (CIVA du CEA) mettent effectivement en évidence des modes de propagation sensibles à l'épaisseur de l'âme tôle dans des modèles simplifiés. La difficulté sera de les caractériser et de vérifier expérimentalement l'existence de ces modes de propagation dans la structure réelle. Pour cela il faudra être en mesure de pouvoir les générer, les mesurer et en déduire l'état de la structure. Une mesure locale pourrait être réalisée et inversée, à l'instar de la technique Multi-channel Acoustic Surface Waves (MASW) appliquée à la caractérisation du béton d'enrobage [4]. Ou une approche tomographique pourrait être envisagée [5].

Dans les deux cas, deux interrogations majeures résident dans les conditions d'interface entre l'âme tôle et les deux couches de béton et sur le comportement des ondes ultrasonores dans des tôles d'acier corrodé ou pas.

Pour investiguer ces voies, une approche du laboratoire au terrain sera mise en œuvre. Il s'agira de développer des solutions de modélisation numérique des différents contrôles ultrasonores (ondes de volume et ondes guidées) à partir d'outils existants puis de vérifier et valider expérimentalement ces nouvelles approches de CNDs. Des maquettes de complexité croissante seront construites et caractérisées et les mesures seront confrontées aux résultats de simulations. Des mesures applicatives sur des structures industrielles réelles pourront être réalisées et les résultats seront comparés aux analyses post-mortem.

Profil recherché : Physicien, propagation des ondes ultrasonores, travaux expérimentaux, couplage de l'expérimentation et de la simulation numérique, structures du génie civil.

3. Références bibliographiques

- [1] J. Aimonino, S. Jacq, Safety-classified steel cylinder reinforced concrete pipelines: mechanism of corrosion, diagnosis and maintenance strategy, Conférence Diagonbéton, 2014.
- [2] T. Yu, Modélisation de la propagation des ondes ultrasonores dans le béton pour l'amélioration du diagnostic des structures de génie civil, mémoire de thèse de l'Université Aix-Marseille, 2018.
- [3] E. Lopez Villaverde, Imagerie ultrasonore dans des matériaux complexes par focalisation en tous points: développement d'une méthode de débruitage des images basées sur la décomposition de l'opérateur de retournement temporel, mémoire de thèse de Sorbonne Paris Cité, 2017.
- [4] V. Métais, Auscultation avec les ondes de surface de matériaux très hétérogènes', mémoire de thèse de l'Université de Nantes, 2016.
- [5] T. Hoang, T. Druet, B. Chapuis, E. Moulin, Passive Tomography by Elastic Guided Wave for Corrosion Detection in Pipelines, Structural Health Monitoring 2019.

4. Localisation

La thèse aura lieu principalement dans les locaux du LMA à Aix-en-Provence et du CEA à Saclay. Des expérimentations pourront avoir lieu sur des sites industriels.

5. Candidatures

Les candidatures doivent être envoyées, par e-mail, avant le 15 juin 2020 à :

Jean-Marie Hénault / 06 17 72 82 79 / jean-marie.henault@edf.fr

Le dossier devra comporter a minima : CV, lettre de motivation, notes de master M1 et M2.