

Nom du candidat : Mohammed Marouane EL BAKKALI

JURY

Membres de Jury

| | |
|---------------------|--|
| S. GRONDEL | Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hénaut-Cambrésis, IEMN |
| M. DESCHAMPS | Directeur de Recherche CNRS à l'Université de Bordeaux |
| L. LAGUERRE | Directeur de Recherche à l'IFSTTAR Nantes |
| P. CAWLEY | Professeur à l'Imperial College, Londres, Angleterre |
| A. LHEMERY | HDR, Expert Senior en CND du CEA |
| F. BERTHELOT | Ingénieur de Recherche au CETIM |

TITRE DE LA THESE

**Modélisation des contrôles non-destructifs
par ondes ultrasonores guidées.
Application aux contrôles de canalisations**

RESUME

La thèse s'inscrit dans la continuité des travaux effectués au sein du CEA LIST pour la réalisation au sein de la plate-forme CIVA, d'un module de simulation des contrôles non-destructifs (CND) par ondes ultrasonores guidées. En particulier, elle est dédiée au développement et à la validation de modèles numériques adaptés à la simulation d'inspections de réseaux de canalisations industrielles. Nous nous sommes spécialement intéressés à la modélisation des phénomènes liés au cas des canalisations comportant une ou plusieurs parties coudées. Ainsi, dans un premier temps et afin de rendre compte de l'effet de la courbure sur la propagation des ondes guidées, une extension en coordonnées curvilignes de la méthode des éléments finis semi-analytiques (SAFE) a été réalisée pour le calcul des modes se propageant dans un coude, par le biais de la résolution numérique d'un système d'équations aux valeurs propres quadratiques restreint à la seule section du guide. Les modes calculés forment une base modale sur laquelle tout champ élastodynamique peut être décomposé. Ce premier développement a aidé à mieux comprendre les effets liés à la courbure du coude sur les champs élastodynamiques tels que la distorsion des champs de déplacements ou le décalage des fréquences de coupures. Dans un second temps, la diffraction que subissent les ondes à la jonction entre deux guides différents, comme c'est le cas entre une canalisation droite et un coude, est résolue grâce à un modèle de raccordement modal prédisant la matrice de diffraction associée à cette jonction pour les différents modes incidents ; les éléments de cette matrice sont obtenus par l'évaluation numérique d'intégrales sur la surface discrétisée de la jonction. Pour compléter ces développements, les matrices de diffractions locales sont combinées à des matrices de propagation pour prendre en compte la présence de plusieurs diffracteurs sur la ligne de canalisations inspectée, sous la forme d'une unique matrice globale de diffraction. Le coût numérique du calcul de cette matrice étant minimal, il est possible de mener à bien des études visant à une meilleure compréhension de l'influence des paramètres de contrôle et par suite, permettant leur optimisation. Des comparaisons des prédictions obtenues par nos modèles avec des résultats numériques et expérimentaux de la littérature et des résultats mesurés lors des campagnes d'essais menées au CETIM sur des maquettes industrielles réalistes nous ont permis de les valider, dans les domaines fréquentiel et temporel. Intégrés au sein de la plate-forme CIVA, ces développements viennent étendre les possibilités offertes par le module de simulation des CND par ondes guidées.

Mots clés: Ondes guidées, contrôles non-destructifs, méthode modale, modélisation, simulation, validation.

**Soutenu le 28 janvier 2015 à 14h00
CEA Saclay-Digiteo Labs**