

# Propagation des ondes ultrasonores dans les structures couche homogène /substrat cylindriques

M. EL OUAHDANI <sup>(1)</sup>, M. SIDKI <sup>(2)</sup>

Équipe d'acoustique et de vibration

Département de physique

Faculté des sciences El Jadida, BP 20, El Jadida, Maroc

<sup>(1)</sup> [m.elouahdani@caramail.com](mailto:m.elouahdani@caramail.com)

<sup>(2)</sup> [sidkimouncif@hotmail.com](mailto:sidkimouncif@hotmail.com)

## Résumé

L'objectif de notre travail de recherche est l'étude de la propagation des ondes ultrasonores dans les structures couche homogène/substrat cylindriques où l'on cherche à déterminer le réseau de dispersion et le champ des déplacements dans ces structures. Par ailleurs, nous analysons l'effet de la qualité d'adhérence de la couche au substrat sur les modes de dispersion. L'application visée par notre étude est le contrôle ultrasonore non destructif des revêtements anti-corrosifs de parois cylindriques.

## 1- Introduction :

Le contrôle de l'état de santé de structures est devenu une priorité pour les industries, compte tenu des hautes performances demandées et des sévères sollicitations de charge et de température subies au cours de sa vie. Les structures considérées dans le cadre de cette étude sont des réservoirs cylindriques, utilisés pour le stockage et le transport de gaz ou de fluides. Les contraintes thermomécaniques, chimiques et de l'environnement peuvent causer des changements dramatiques dans la structure et conduire à une évolution des propriétés de certains matériaux la constituant. Pour faire en sorte que ces structures restent opérationnelles avec un maximum de fiabilité, il faut donc établir des méthodes de contrôle de leurs matériaux constitutifs. L'accent est mis sur la réduction des coûts. L'objectif de l'étude, est de suivre la santé matière de la structure avec une technique ultrasonore. La technique ultrasonore a été privilégiée du fait de son caractère non ionisant et non dangereux et de sa capacité à donner des informations en temps réel. La méthode de contrôle non destructive est basée sur la propagation des ondes ultrasonores guidées.

L'utilisation de cette technique de contrôle non destructive nécessite l'étude et la compréhension de la propagation des ondes ultrasonores dans les structures cylindriques. Plusieurs chercheurs y ont participé. Viktorov, Ruff et al [1-3] ont étudié la propagation sur une surface cylindrique en vue de la détection des défauts surfacique. Valle et al [4] ont ensuite résolu numériquement l'équation de dispersion d'une couche cylindrique avec conditions aux limites à l'interface de type contact glissant. Dans notre équipe de recherche nous avons développé un code de calcul de haute précision sur MATLAB permettant de résoudre l'équation de dispersion d'une structure couche/substrat cylindrique avec condition aux limites à l'interface de type contact parfait et imparfait.

## 2- Méthode et résultats :

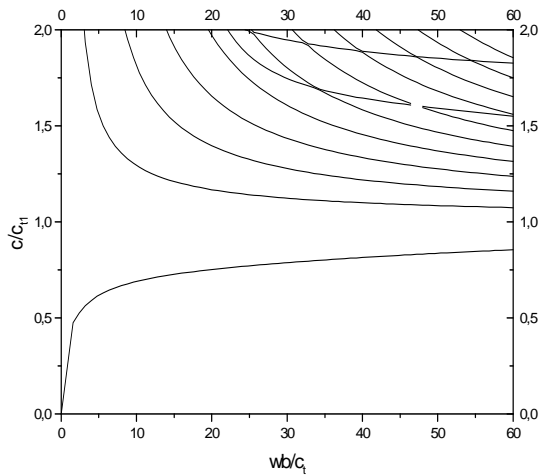
Par une résolution numérique en utilisant la méthode de bisection sur MATLAB, nous avons déterminé les racines de l'équation caractéristique de la structure couche/substrat cylindrique et tracé les courbes de dispersion pour différentes épaisseurs. La figure1 présente le réseau de dispersion d'une cavité revêtue pour un rapport géométrique  $h/b=0.05$  ( $h$  est l'épaisseur de la couche et  $b$  est le rayon externe de la couche). Les réseaux de dispersion sont d'un intérêt capital en contrôle non destructif car ils nous renseignent sur les modes susceptibles de se propager dans la structure étudiée. Par ailleurs, nous avons étudié l'influence de la qualité de contact sur le réseau de dispersion, ce contact est modélisé selon les conditions aux limites définies par PILARSKI [5] qui suppose une proportionnalité entre la différence de déplacement est la contrainte à l'interface. Ces courbes nous ont permis de caractériser la qualité de contact ( du contact parfait au décollement total). Sur la figure 2 nous avons présenté les modes de dispersion dans les cas extrêmes de contact parfait et de décollement total obtenus respectivement pour  $K_n = K_t=10^{15}$  et  $K_n = K_t=10^{10}$ . Ensuite, pour les six premiers modes circonférentielles de propagation, nous avons déterminé le champ des déplacements en fonction de la distance radiale et évalué la répartition énergétique de l'onde ultrasonore dans la structure. L'importance de ces courbes est réside dans la détermination des modes les plus appropriées pour le contrôle ultrasonore de la paroi interne de la couche ainsi que de l'interface couche /substrat.

Sur la figure 3, nous représentons la répartition énergétique spatiale des deux premiers modes de propagation dans la structure. On constate que le premier mode est le plus approprié pour caractériser et contrôler l'interface car le maximum de son énergie est concentré à l'interface couche/substrat. Alors que, le second mode permet de contrôler la paroi interne de la couche.

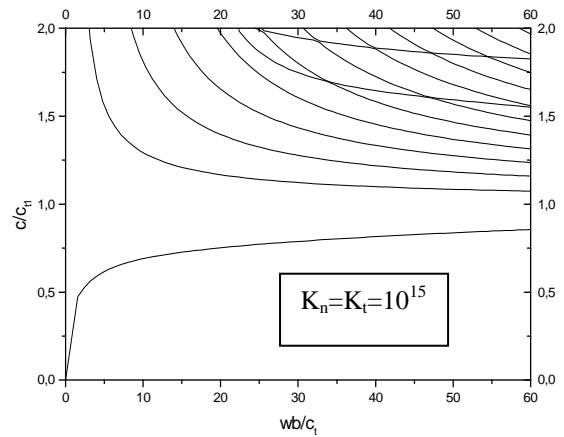
## 3- Conclusion et perspectives :

Dans ce travail, nous avons développé un modèle de propagation dans les structures cylindriques. Ce modèle nous a permis de comprendre la propagation ultrasonore guidée dans ces structures. Nous avons déterminé les modes de dispersion et le champ de déplacement. Ces deux dernières grandeurs sont d'un intérêt capital en contrôle non destructif ultrasonore. Elles nous renseignent sur les modes les plus appropriées pour le contrôle ultrasonore de la paroi libre de la couche ainsi que l'interface couche/substrat.

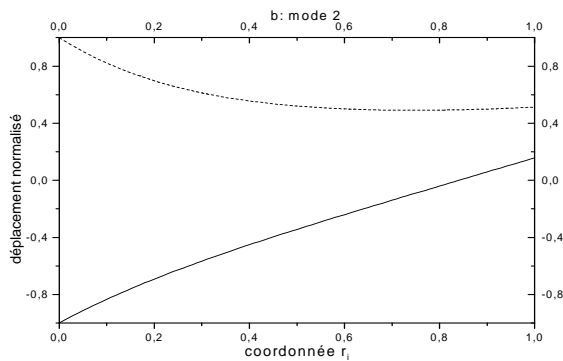
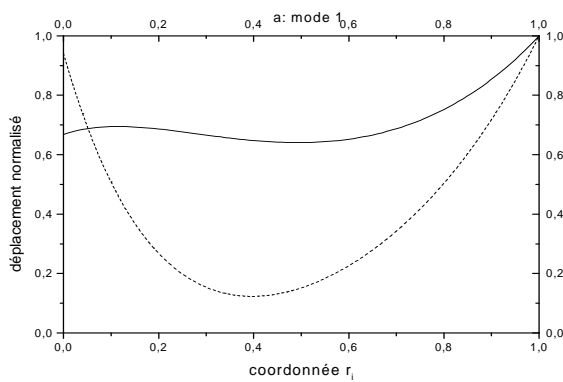
En perspective de ce travail, nous envisageons de développer un modèle de propagation dans les structures cylindriques bicouches permettant la détermination des modes de dispersion et du champ de déplacement dans ces structures. Ensuite, nous envisageons de déterminer les propriétés des structures couche/substrat cylindriques à partir des modes de dispersion par résolution d'un problème inverse.



**Figure.1 :** Courbes de dispersion du système chrome/acier, contact parfait,  $h/b=0.05$



**Figure.2:** Courbes de dispersion du système chrome/acier, contact imparfait,  $h/b=0.05$



**Figure.3 :** Distribution des déplacements radiaux et tangentiels le long de la direction radiale dans la couche pour une fréquence de  $15\text{MHz}$  ; ..... dép. tangential, — dép. radial

**Références :**

- [1] I. A. Victorov, "Rayleigh-type Waves on a Cylindrical Surface", *Acoust. Appl. Mech.* 65,424-430 (1958).
- [2] I. A. Victorov, "Rayleigh and Lamb Waves" (Plenum, New York, 1967).
- [3] B. Ruff, "Rayleigh waves on curved surfaces" , *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 45,2, (1969), p. 493.
- [4] C. Valle, J. Qu, and L. J. Jacobs, "Guided circumferential Waves in Layered Cylinders," *Int. J. Eng. Sci.* 37, 1369-1387 (1999).
- [5] A. Pilarski, J.L Rose , "A transverse-wave ultrasonic oblique-incidence technique for interfacial weakness detection in adhesive bonds" *J. Appl. Phys.*, 63 (2), (1988), 300-307.