



**HAL**  
open science

# EXCITATION ET DÉTECTION PAR DES TRANSDUCTEURS INTERDIGITÉS DES ONDES TRANSVERSALES HORIZONTALES GUIDÉES DANS UNE PLAQUE DE QUARTZ

Moussa Hoummady, B. Auld, D. Hauden, E. Bigler

► **To cite this version:**

Moussa Hoummady, B. Auld, D. Hauden, E. Bigler. EXCITATION ET DÉTECTION PAR DES TRANSDUCTEURS INTERDIGITÉS DES ONDES TRANSVERSALES HORIZONTALES GUIDÉES DANS UNE PLAQUE DE QUARTZ. *Journal de Physique Colloques*, 1990, 51 (C2), pp.C2-1245-C2-1248. 10.1051/jphyscol:19902292 . jpa-00230626

**HAL Id: jpa-00230626**

**<https://hal.science/jpa-00230626>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

**EXCITATION ET DÉTECTION PAR DES TRANSDUCTEURS INTERDIGITÉS DES ONDES TRANSVERSALES HORIZONTALES GUIDÉES DANS UNE PLAQUE DE QUARTZ**

M. HOUMMADY, B.A. AULD, D. HAUDEN et E. BIGLER

*Laboratoire de Physique et Métrologie des Oscillateurs du C.N.R.S.  
Associé à l'Université de Franche-Comté-Besançon, 32 Avenue de  
l'Observatoire, F-25000 Besançon, France*

**Résumé** - Les transducteurs à peignes interdigités, déposés sur un substrat piézoélectrique, peuvent exciter et détecter des ondes acoustiques de nature très différente (ondes de Rayleigh, ondes confinées sous la surface, ondes de volume, etc.). Dans le cas du quartz (coupes  $Y \pm \theta$ ), si le transducteur est tourné de  $90^\circ$  par rapport à l'axe cristallin X, seules les ondes transversales horizontales sont excitées. Leurs directions, comme pour toutes les ondes de volume, sont déterminées par la fréquence du signal appliqué. Le transducteur d'excitation émet un faisceau acoustique qui, en se réfléchissant sur la surface inférieure, se dirige alors vers la surface supérieure, où il peut être détecté par un second transducteur. Le guidage des ondes est dû aux réflexions successives sur les faces parallèles de la plaque de quartz. Si elle est de faible épaisseur, l'interférence des ondes incidentes avec les ondes réfléchies, donne naissance à des modes de plaque se propageant à des fréquences discrètes. Les résultats de cette étude, à la fois théorique et expérimentale, sont présentés sous les deux aspects d'ondes guidées et de modes de plaque.

**Abstract** - The Interdigital Transducers (IDT) used in SAW devices are effective for launching various acoustic waves (Rayleigh Waves, Surface Skimming Bulk Waves and Bulk Acoustic Waves). In the Y-cut quartz, when the propagation is in the Y-Z plane, only the shear horizontal waves are generated. The direction of emission is scanned by the applied excitation frequency. The IDT is equivalent to an acoustic array antenna launching a collimated beam into the crystal bulk at such an angle that the beam reflected by the crystal plate bottom is redirected to the top surface where it can be intercepted by a receiving IDT. Guided waves are due to successive reflections on the parallel surfaces. If the plate thickness is weak, because of the interference between incident and reflected waves, plate modes are excited. In this paper, theoretical and experimental analysis of guided waves and plate modes are presented.

## 1 - INTRODUCTION

Les transducteurs interdigités sont utilisés principalement pour l'excitation et la détection des ondes de Rayleigh dans les milieux piézoélectriques. Mais ils peuvent aussi exciter d'autres types d'ondes, de structure différente. Celles-ci, qui ont été souvent considérées comme des émissions parasites, peuvent se révéler utiles pour des applications aux oscillateurs, aux capteurs et au traitement du signal /1/-/2/.

Dans le cas du quartz, l'excitation de différentes ondes dépend de l'orientation du transducteur. En effet, si la propagation est suivant l'axe cristallin X, le transducteur émet, en plus de l'onde de Rayleigh, trois autres ondes : une onde longitudinale, une onde transversale verticale et une onde transversale horizontale. Par contre, si le transducteur est tourné de  $90^\circ$  par rapport à l'axe X, seule la branche transversale horizontale est excitée ; ceci concerne donc toutes les coupes Y à simple rotation /3/, /6/.

Se comportant comme un réseau d'antennes acoustiques, un transducteur interdigité est d'autant plus directif qu'il comporte un plus grand nombre de doigts. Si sa longueur L est suffisamment grande ( $L$  supérieure à  $50 \lambda_0$ ), l'effet de la diffraction est négligeable. Quant à la direction de propagation, elle varie avec la fréquence du signal appliqué. Dans une plaque de quartz, pour des fréquences supérieures à la fréquence de coupure, le faisceau acoustique émis par le transducteur se réfléchit sur la surface inférieure et se dirige ensuite vers la surface supérieure. Ces réflexions peuvent se répéter plusieurs fois avant que le signal ne soit détecté par un second transducteur. De plus, en fonction des paramètres géométriques (épaisseur de la plaque, période et longueur des transducteurs), ce phénomène donne naissance soit à des ondes guidées, soit à des modes de plaque.

2 - ETUDE THEORIQUE

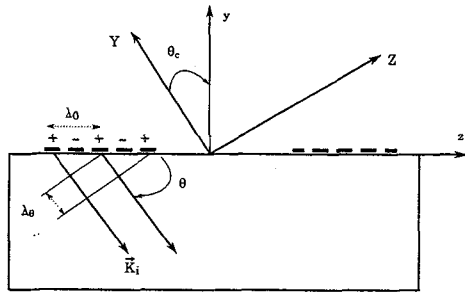


Figure 1-a : Dispositif à ondes T.H. dans une plaque de Quartz

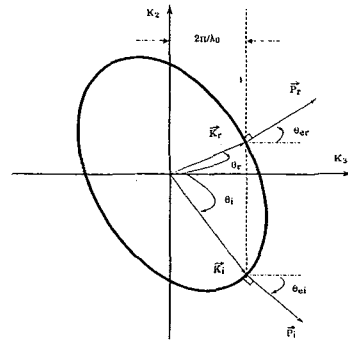
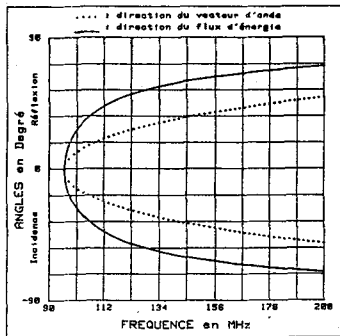


Figure 1-b : Courbe de lenteur de la branche T.H. pour une coupe Y du Quartz

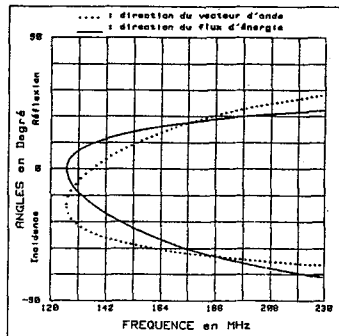
Les ondes Transversales Horizontales (T.H.) sont émises essentiellement dans la direction  $\theta$ , et se propagent à la vitesse  $V_p(\theta)$ . Les paramètres  $\theta$  et  $V_p(\theta)$  sont déterminés par l'intervalle interdité  $\lambda_0/2$  et par la fréquence du signal appliqué, d'après la relation :

$$f = V_p(\theta) / (\lambda_0 \cdot \cos \theta) \tag{1}$$

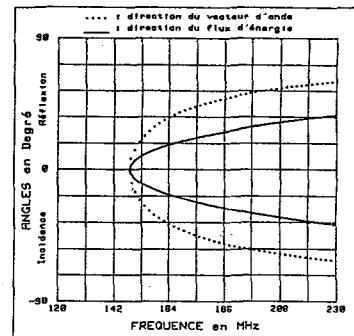
Quant au flux d'énergie, il se propage dans la direction  $\theta_e$  (Fig. 1b) normale à la courbe de lenteur  $1/4$ . L'orientation de cette dernière ne dépend que de l'angle de coupe  $\theta_c$  de la plaque (Fig. 1a). Les figures suivantes montrent les variations de  $\theta$  et de  $\theta_e$  en fonction de la fréquence pour trois angles de coupe différents ( $\lambda_0$  étant égale à  $34,4 \mu\text{m}$  pour tous les dispositifs expérimentaux utilisés).



a-  $\theta_c = 58^\circ 5$



b-  $\theta_c = 0^\circ$



c-  $\theta_c = -31^\circ 5$

Figure 2 : Variation de  $\theta$  et de  $\theta_e$  en fonction de la fréquence.

Les ondes T.H. sont excitées à partir d'une fréquence de coupure  $f_c$ , fixée par  $\lambda_0$  et par les constantes caractéristiques du quartz  $1/5$ .

$$f_c = \frac{C_a}{\lambda_0} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \tag{2}$$

où  $\rho$  est la masse volumique,  $C_a$  le facteur d'anisotropie dépendant des constantes élastiques  $C_{ij}$  relatives au repère de la plaque.

À la fréquence de coupure, le flux d'énergie est parallèle à la surface : l'onde correspondante est dans ce cas précis appelée S.S.B.W. (Surface Skimming Bulk Wave). Au-delà de la fréquence de coupure, la direction du vecteur d'onde  $\theta$  prend deux valeurs  $\theta_i$  (angle d'incidence) et  $\theta_r$  (angle de réflexion), ainsi que la direction du flux d'énergie  $\theta_e$  prenant les valeurs  $\theta_{ei}$  (angle d'incidence) et  $\theta_{er}$  (angle de réflexion). De plus, si les surfaces supérieure et inférieure de la plaque sont parallèles, les ondes T.H. sont guidées dans la direction apparente  $z$  par réflexions successives.

Afin de détecter ces ondes T.H. guidées, un second transducteur est placé sur la surface supérieure, à la distance  $\ell$  du premier. Par variation de la fréquence, le transducteur de détection est alors balayé par le faisceau acoustique. Le recouvrement de ce transducteur est maximal pour les fréquences  $F_n$  données par :

$$F_n = F_c \sqrt{1 + \left(\frac{2nHC_a}{\ell}\right)^2} \tag{3}$$

où  $n$  est le nombre de réflexions des ondes T.H. sur la surface inférieure.

Le transducteur d'excitation étant de longueur finie, l'épaisseur  $H$  de la plaque doit être faible ( $H$  inférieure à quelques dizaines de longueurs d'onde  $\lambda_0$ ) pour obtenir une interférence nettement perceptible entre les ondes T.H. incidentes et réfléchies. Cette interférence donne naissance à des modes de plaques se propageant à des fréquences discrètes  $F_M$  données par :

$$F_M = F_c \sqrt{1 + \left(\frac{M \lambda_0}{2CH}\right)^2} \tag{4}$$

Par analogie entre la plaque de quartz et le guide d'onde dispersif, nous présentons les courbes de dispersion modales normalisées pour trois angles de rotation différents. Le mode  $M = 0$  correspond à l'onde SSBW.

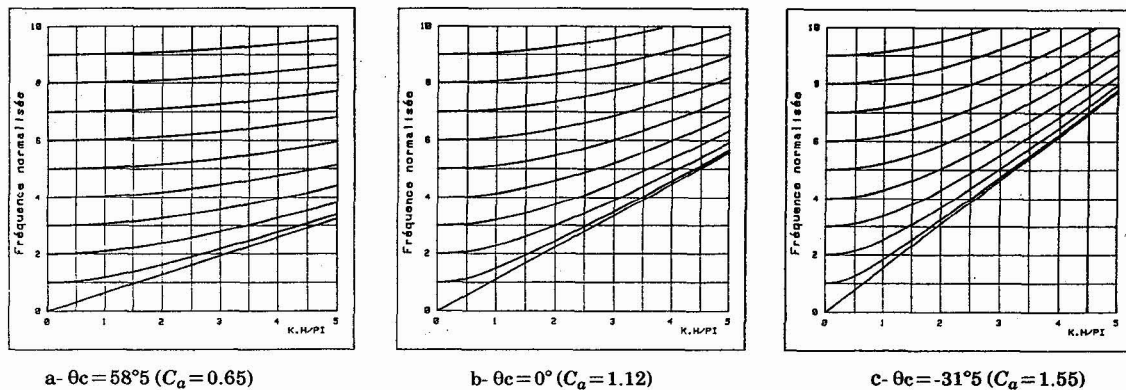


Figure 3 : Courbes de dispersions normalisées

3 - ETUDE EXPERIMENTALE

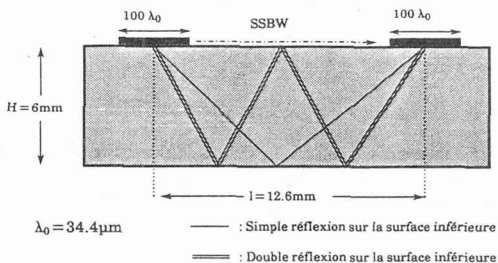


Figure 4-a : Schéma du dispositif expérimental

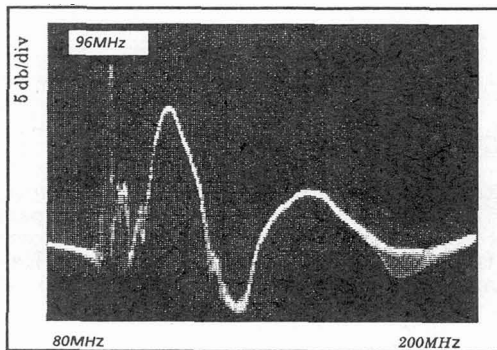


Figure 4-b : Fonction de transfert

La réponse en transmission d' une plaque de coupe  $\theta_c = 58^\circ 5$  (Fig. 4a), illustre l'effet de guidage. En effet la figure 4b fait apparaître trois réponses principales : la première à 96MHz correspond à l'onde SSBW, la seconde et la troisième réponse correspondent aux ondes T.H. réfléchies respectivement une fois puis deux fois sur la surface inférieure. Ces deux dernières réponses sont proportionnelles à la corrélation de deux fenêtres spatiales d'ouvertures égales aux longueurs des transducteurs.

Elles présentent des maximums d'amplitude aux fréquences de 113MHz et 153MHz (3). Pour ces fréquences, les angles  $\theta_e$  du flux d'énergie sont respectivement  $43^\circ$  et  $63^\circ$  et le recouvrement du transducteur de détection est alors maximal.

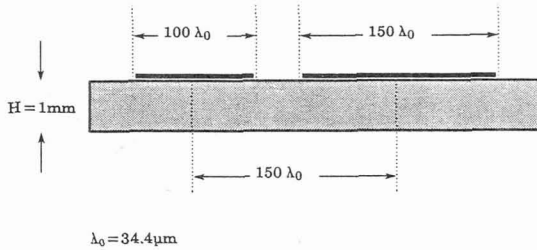


Figure 5 - a : Schéma du dispositif expérimental

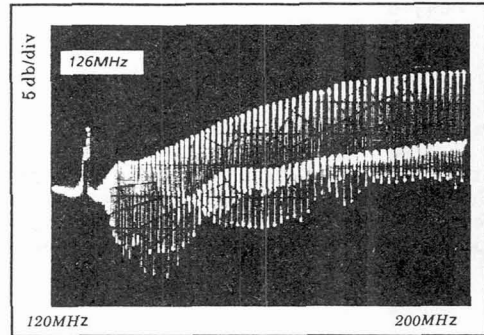


Figure 5 - b : Fonction de transfert

Dans le cas d'une plaque de faible épaisseur et de coupe Y (Fig. 5a), la fonction de transfert (Fig. 5b) met en évidence des raies à fréquences discrètes. Ce sont les fréquences de propagation des modes de plaque. A 126MHz, il y a propagation de l'onde SSBW. Quand aux raies de fréquences comprises entre 180MHz et 200MHz, elles apparaissent sur la figure 6, superposées aux fréquences théoriques en traits discontinus (4). Celles-ci sont établies pour  $H = 975\mu\text{m}$  (au lieu de 1mm), l'erreur de 2.5% est acceptable étant donné que ces coupes ne sont pas d'une grande précision. L'observation de cette figure, nous amène à conclure sur la validité du modèle théorique établi.

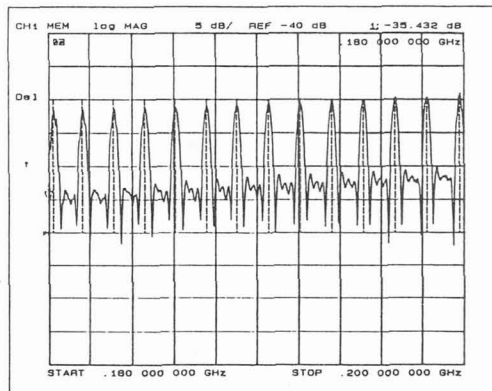


Figure 6 : Superposition des fréquences théoriques et expérimentales des modes de plaque

#### 4 - CONCLUSION

Cette étude met en évidence l'influence déterminante des paramètres géométriques du dispositif. En particulier, le rapport  $H/\lambda_0$  permet de passer continûment des ondes guidées par réflexions successives aux modes de plaque. De plus, ces paramètres permettent l'utilisation de ces dispositifs à de très hautes fréquences (jusqu'à 10GHz). A ces fréquences, les applications sont diverses, notamment dans les domaines du traitement du signal et des capteurs.

#### REFERENCES

- /1/ C.N. Helmick, D.J. White and K.M. Lakin, "Deep-Bulk-Acoustic-Wave Devices utilizing interdigital transducers", Ultrasonics Symp. 1981.
- /2/ Janpu Hou, "Analysis of anharmonics in surface skimming bulk wave devices", 42nd Ann. Symp. on Freq. Cont., 1988, pp. 317-223.
- /3/ M. Lewis, "Surface Skimming Bulk Waves, SSBW", Ultrasonics Symp. 1977, pp. 744-752.
- /4/ B.A. Auld, "Acoustic fields and waves in solids", vol. 1, New-York : Wiley, 1973.
- /5/ M. Goodberlet, D.L. Lee and J.F. Vetelino, "Temperature stability of surface generated bulk waves", Electronics Letters 19 (18), 740 (1983).
- /6/ Y. Zhang, M. Planat, "Anisotropy dependence of the focused field radiated into a piezoelectric half-space by an interdigital transducer", Appl. Phys. Lett., 52 (6), feb. 1988