

Étude d'un guide d'onde à lame diélectrique en rexolite dans le domaine de 4 à 20 GHz

Koffi-Sa BEDJA*, Obaboè K. ANIFRANI*, Ayité Sénah AJAVON*

Introduction

Les récentes techniques avancées dans le domaine des télécommunications exigent un système de communication d'échange d'informations, aussi bien qu'un appareillage de contrôle sophistiqué. Ceci ne peut pas être réalisé sans se situer dans de très larges gammes de fréquence. Ainsi, les guides d'ondes diélectriques, tendent à prendre une place très importante dans la communication à micro-onde (domaine d'onde centimétrique et millimétrique). Ceci est justifié par les applications importantes auxquelles ils sont associés.

Dans le présent contexte, la lame diélectrique est posée sur la fente longitudinale d'une cavité ouverte ; ceci lui confère la particularité d'une ligne image diélectrique. Comme la ligne diélectrique posée sur un milieu métallique présente des pertes métalliques significatives, nous avons pensé rehausser la ligne loin de la masse plane dans le souci de minimiser ces pertes.

Durant cette étude, nous nous étions plus intéressés au mode LSE_x qui n'est rien d'autre que le mode dégénéré TE_{10} Ceci à cause du fait que le mode TE_x représente le mode dominant et correspond à la plus basse fréquence qui peut être transmise par le guide.

Théorie

La propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace non limité telle qu'observée entre deux antennes ou comme la lumière est propagée présente un inconvénient.

En effet, ce dernier diverge rapidement de la source d'émission et l'énergie à la sortie entre l'énergie reçue et l'énergie émise est très basse. D'où la nécessité de faire propager les ondes dans les guides, en vue de relever l'énergie à la sortie.

Cette propagation guidée est régie par la dérivation partielle des équations d'ondes suivantes :

$$\Delta_t \begin{Bmatrix} E_z(x,y) \\ H_z(x,y) \end{Bmatrix} + (K^2 + \Gamma^2) \begin{Bmatrix} E_z(x,y) \\ H_z(x,y) \end{Bmatrix} = 0$$

dont la solution est :

$$(K^2 + \Gamma^2) \vec{E}_t = jKZ(\vec{\mu} \wedge \text{grad } H_z) - \Gamma \text{grad } E_z$$

$$(K^2 + \Gamma^2) \vec{H}_t = j\frac{K}{Z}(\vec{\mu} \wedge \text{grad } E_z) - \Gamma \text{grad } H_z$$

Les conditions limites sont :

$$\left. \begin{matrix} E_z = 0 \\ \frac{\partial H_z}{\partial x_n} = 0 \end{matrix} \right\} \text{ sur la paroi métallique}$$

d'où :

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta$$

$$\beta = \text{constante de phase}$$

$$K = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$$

La figure ci-dessous (fig. 1) illustre une paroi magnétique dont les conditions limites sont :

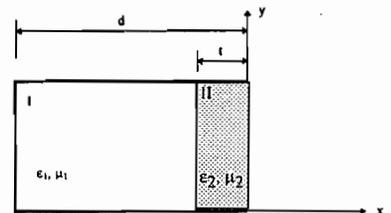


Figure 1. Paroi magnétique.

$$\begin{cases} E_{tg} = \max \\ E_n = 0 \end{cases}$$

$$E_z = 0 \text{ pour } y = 0 \text{ et } y = b \Rightarrow K_y = \frac{q\pi}{b} \quad (q > 0)$$

Pour la zone 1 définie par $-d < x < -t$ nous pouvons écrire :

$$E_z = [A \cos \gamma_1 x + B \sin \gamma_1 x] \sin K_y y$$

$$H_z = [A' \cos \gamma_1 x + B' \sin \gamma_1 x] \cos K_y y$$

Nous savons que :

$$E_z = 0 \text{ pour } x = -d$$

*Département de Génie Electrique, Laboratoire d'Electronique et de Physique Appliquée ENSI - Université du Benin, B.P. 1515 Fax : (228) 25 97 36 LOME - TOGO

Appareillage expérimental et méthodologie

Appareillage expérimental utilisé

L'équipement expérimental est composé d'un générateur, d'un isolateur utilisé pour protéger le générateur, un coupleur de 10 dB utilisé pour prélever une partie de l'énergie nécessaire à la mesure de la fréquence.

La ligne étudiée est placée dans une cavité ouverte avec une fente longitudinale qui a 300 mm de long, 16 mm de large et 16 mm de profondeur dans le plan de masse.

La ligne est excitée par une boucle magnétique et la détection est assurée par une seconde sonde magnétique équipée d'un détecteur qui se déplace dans le plan formé par les deux réflecteurs de cavité.

La sonde et le détecteur sont tous deux connectés à un oscilloscope qui permet la visualisation des différents phénomènes de propagation.

Méthodologie

La méthode de mesure de la constante de propagation consiste en l'application d'un signal à la ligne diélectrique à travers l'appareillage de la sonde magnétique dans le plan horizontal placé dans la fente de la cavité.

Continuité de H_z

$$H_1 \cos \gamma_1 (d-t) = H_2 \sin \gamma_2 t - (K_2^2 - \beta^2) \gamma_1 t g \gamma_1 (d-t) = (K_1^2 - \beta^2) \gamma_2 \cot g \gamma_2 t$$

si $d-t = l$ nous pouvons écrire:

$$-K_{c2}^2 \gamma_1 t g \gamma_1 l = K_{c1}^2 \gamma_2 \cot \gamma_2 l$$

avec

$$K_{c1}^2 = K_1^2 - \beta^2$$

$$K_{c2}^2 = K_2^2 - \beta^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1^2 - \beta^2 = K_y^2 + \gamma_1^2 \\ K_2^2 - \beta^2 = K_y^2 + \gamma_2^2 \end{array} \right.$$

ainsi nous pouvons écrire:

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_2 K_1^2 - \epsilon_2 \beta^2 = (K_y^2 + \gamma_1^2) \epsilon_2 \\ \epsilon_1 K_2^2 - \epsilon_1 \beta^2 = (K_y^2 + \gamma_2^2) \epsilon_1 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_2 \gamma_1^2 = \epsilon_2 K_1^2 - \epsilon_2 \beta^2 - \epsilon_2 K_y^2 \\ \epsilon_1 \gamma_2^2 = \epsilon_1 K_2^2 - \epsilon_1 \beta^2 - \epsilon_1 K_y^2 \end{array} \right.$$

$$\epsilon_1 \gamma_2^2 - \epsilon_2 \gamma_1^2 = \epsilon_1 K_2^2 - \epsilon_2 K_1^2 + \beta^2 (\epsilon_2 - \epsilon_1) + K_y^2 (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

Alors, la surface d'onde incidente qui se propage le long de la ligne est réfléchiée par les plans de courts-circuits de la cavité. Ceci entraîne la formation d'ondes stationnaires dues à la superposition d'ondes incidentes et réfléchies.

Le mouvement de la seconde sonde équipée d'un détecteur le long de la ligne permet de relever un nombre N d'extremum de même nature à chaque demi-longueur d'onde guidée λ_g .

Connaissant la distance entre le premier et le deuxième extremum détectés, nous pouvons déduire la longueur d'onde guidée.

La condition de résonance est donnée par la formule $\lambda_g = 2d/N$.

Sachant qu'il existe une relation entre la constante de phase de propagation et la longueur d'onde guidée donnée par :

$$\beta_g = \frac{2\pi}{\lambda_g} = \frac{2\pi N}{2d} = \frac{\pi N}{d}$$

nous pouvons facilement trouver β_g .

Plus la valeur de N est élevée, mieux sera la précision.

d = déplacement de la sonde magnétique ;

N = nombre d'extremum de même nature.

Ainsi :

$$A \cos \gamma_1 d - B \sin \gamma_1 d = 0$$

et,

$$A = E_1 \sin \gamma_1 d$$

$$B = E_1 \cos \gamma_1 d$$

donc:

$$E_z = E_1 \sin \gamma_1 (d+x) \sin K_y y.$$

De la même manière,

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = 0 \quad \text{pour} \quad x = -d$$

ainsi:

$$-\gamma_1 A' \sin \gamma_1 d + \gamma_1 B' \cos \gamma_1 d = 0$$

et

$$A' = H_1 \cos \gamma_1 d$$

$$B' = H_1 \sin \gamma_1 d$$

donc:

$$H_z = H_1 \cos \gamma_1 (d+x) \cos K_y y.$$

Étude en mode LSE_x :

* dans la zone $-d < x < -t$ nous avons :

$$K_y = 0 \Rightarrow E_y = 0$$

et

$$H_x = H_1 \cos \gamma_1 (d+x)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial x} = -\gamma_1 H_1 \sin \gamma_1 (d+x)$$

$$(K_1^2 - \beta^2) E_y = -j\omega \mu_1 \gamma_1 H_1 \sin \gamma_1 (d+x)$$

$$(K_1^2 - \beta^2) H_x = -j\beta \gamma_1 H_1 \sin \gamma_1 (d+x)$$

Comme pour la zone 2 définie par $-t < x < 0$ nous avons :

$$H_x = H_2 \sin \gamma_2 x$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial x} = \gamma_2 H_2 \cos \gamma_2 x$$

$$(K_2^2 - \beta^2) E_y = j\omega \mu_2 \gamma_2 H_2 \cos \gamma_2 x$$

$$(K_2^2 - \beta^2) H_y = -j\beta \gamma_2 H_2 \cos \gamma_2 x.$$

En appliquant la condition de continuité dans $x = -t$ successivement pour E_y et H_x , nous pouvons écrire :

Continuité de E_y

$$-\frac{\gamma_1 H_1}{K_1^2 - \beta^2} = \sin \gamma_1 (d-t) = \frac{\gamma_2 H_2}{K_2^2 - \beta^2} \cos \gamma_2 t$$

$$\beta^2 = \frac{\epsilon_1 \gamma_2^2 - \epsilon_2 \gamma_1^2}{\epsilon_2 - \epsilon_1} - K_y^2$$

Cette équation nous permettra de calculer β .

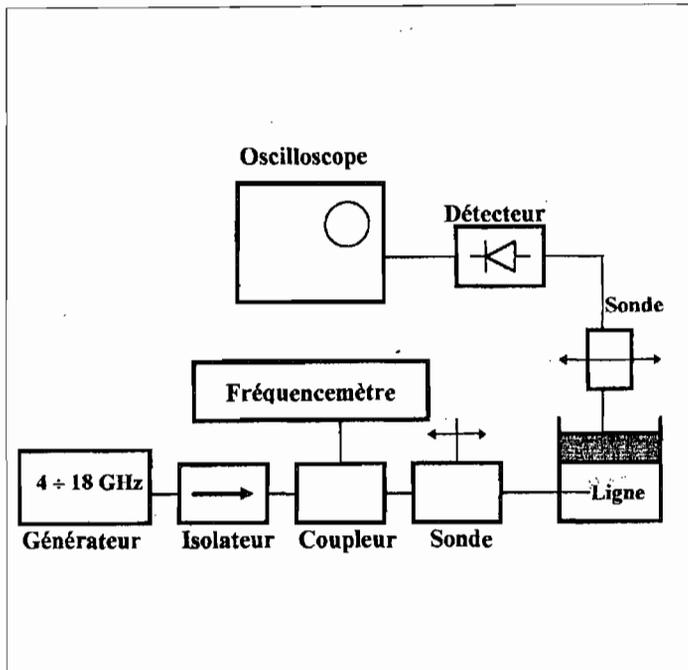


Figure 2.1. Dispositif expérimental.

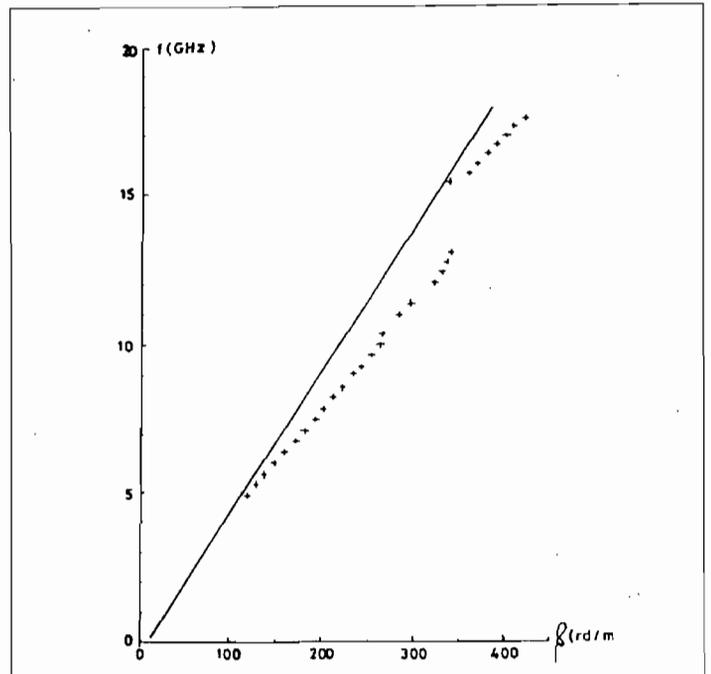


Figure 2.2. Caractéristiques de dispersion.

Résultats

Nous avons relevé les différents paramètres entre d et N . Ceci nous a permis de tracer les différentes courbes pour les valeurs respectives de $N \leq 17$.

Ces courbes nous ont permis de faire diverses interprétation et commentaires.

Discussion

Le relevé de caractéristique de la dispersion illustrée dans la figure 2.2 laisse entrevoir la propagation de deux modes matérialisés par la coupure observée.

La première partie de la caractéristique de dispersion de 5 à 12,5 GHz représente le mode supérieur.

Cette affirmation trouve sa justification dans le relevé des champs électriques et magnétiques illustrés par les figures 2.3. à 2.12.

Pour la plage de mesure, nous avons utilisé la technique suivante: nous choisissons une résonance et nous considérons le milieu de la ligne.

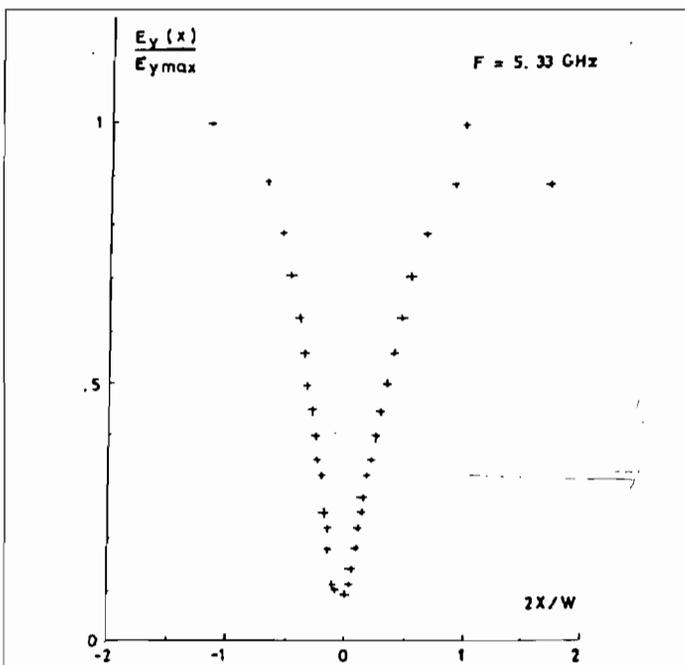


Figure 2.3. Champ électrique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

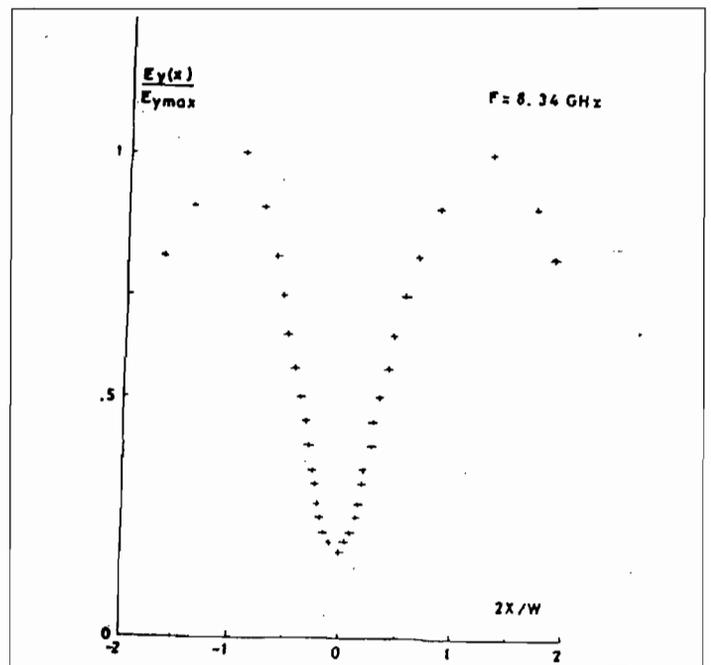


Figure 2.4. Champ électrique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

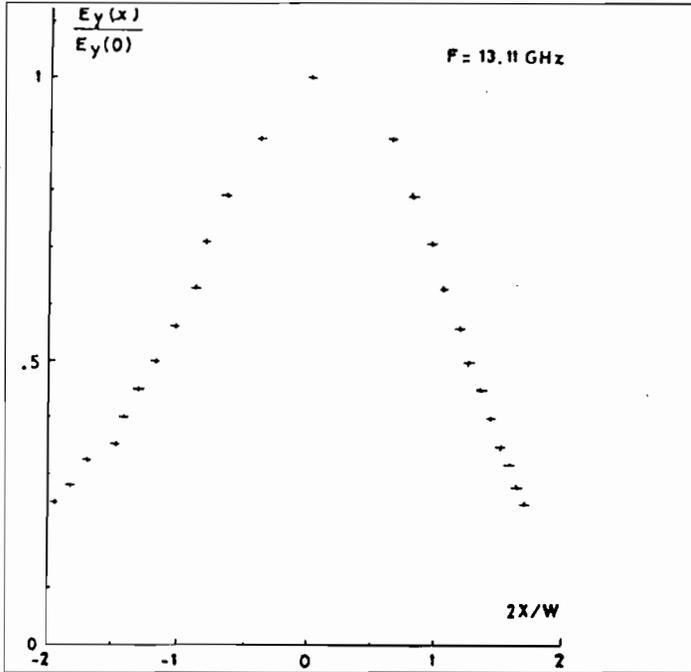


Figure 2.5. Champ électrique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

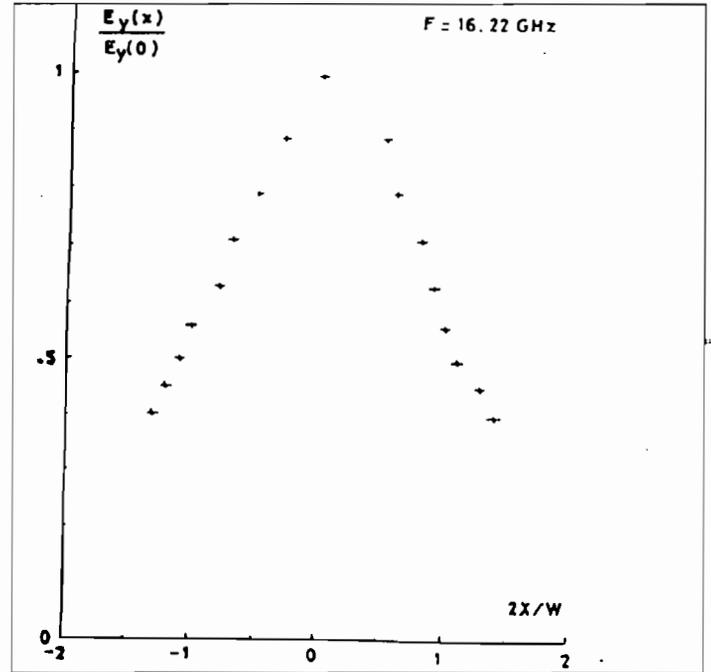


Figure 2.6. Champ électrique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

Le but de ceci est d'éviter la perturbation due aux parois, car il y a des ondes stationnaires qui se créent entre le système diélectrique et les parois.

Nous pouvons remédier à ceci aussi en couvrant les parois de matériaux absorbant destinés à capter les ondes réfléchies.

La mesure est faite pour 4 fréquences choisies arbitrairement dans l'ordre de deux par mode.

Donc, nous remarquons que les fréquences 5,33 GHz et 8,34 GHz représente les courbes identiques illustrés par les figures 2.3, 2.4, 2.7, 2.8, et 2.11.

De la même manière les fréquences 13,11 GHz et 16,72 GHz présentent également des courbes identiques illustrés par les figures 2.5, 2.6., 2.9., 2.10., et 2.12.

Nous remarquons pour la forme, que les champs électriques et magnétiques sont minima et tendent vers zéro au milieu de la ligne où ils sont aussi maxima à chaque côté du point milieu.

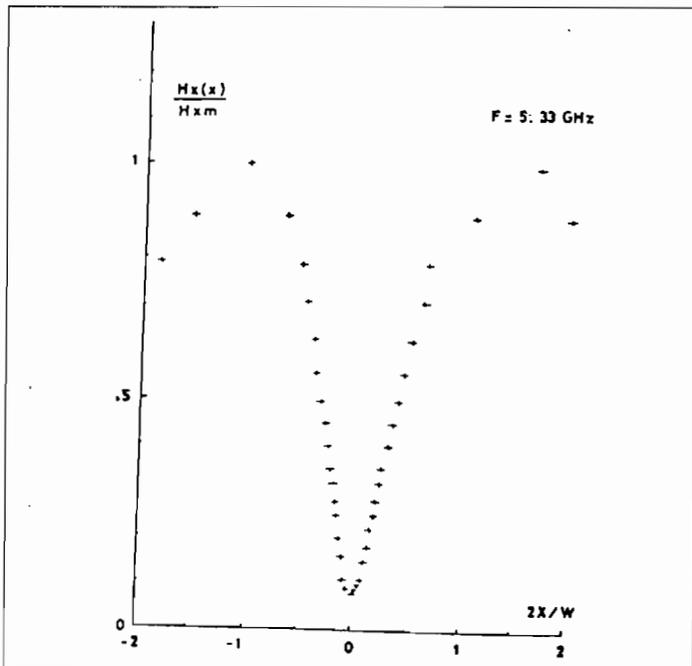


Figure 2.7. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

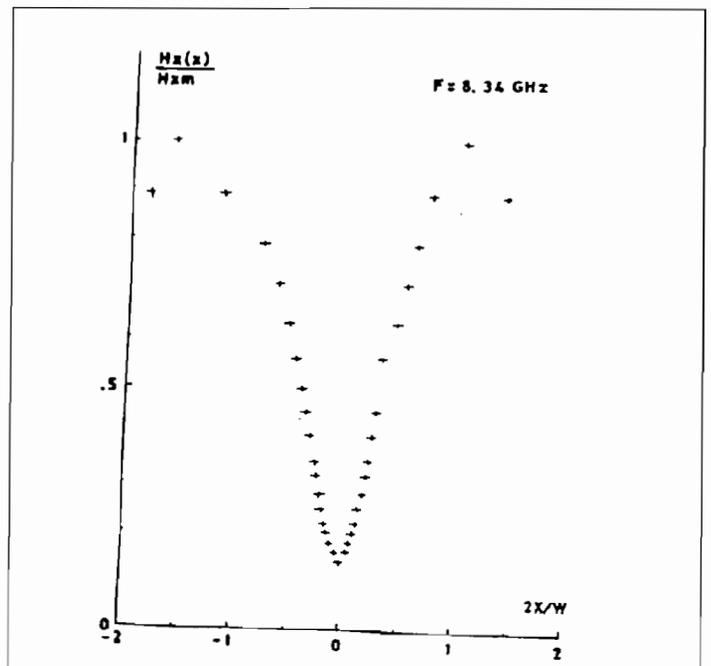


Figure 2.8. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

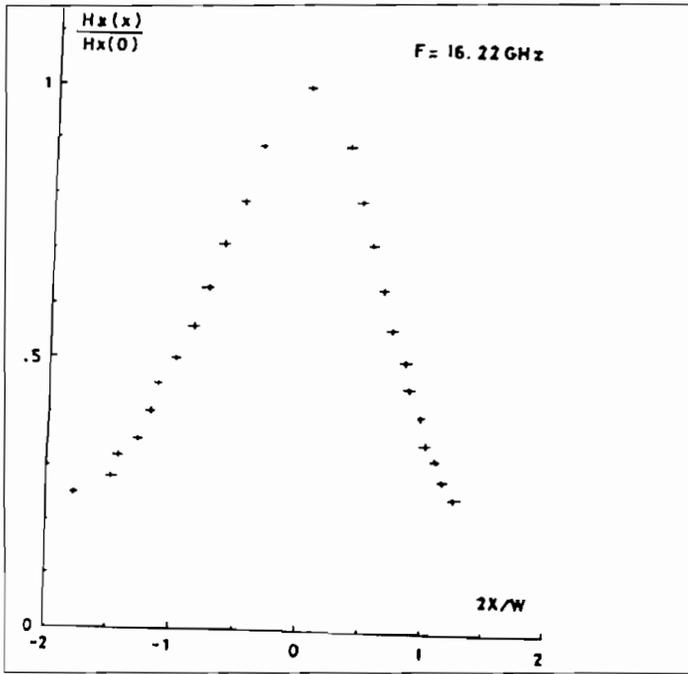


Figure 2.9. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

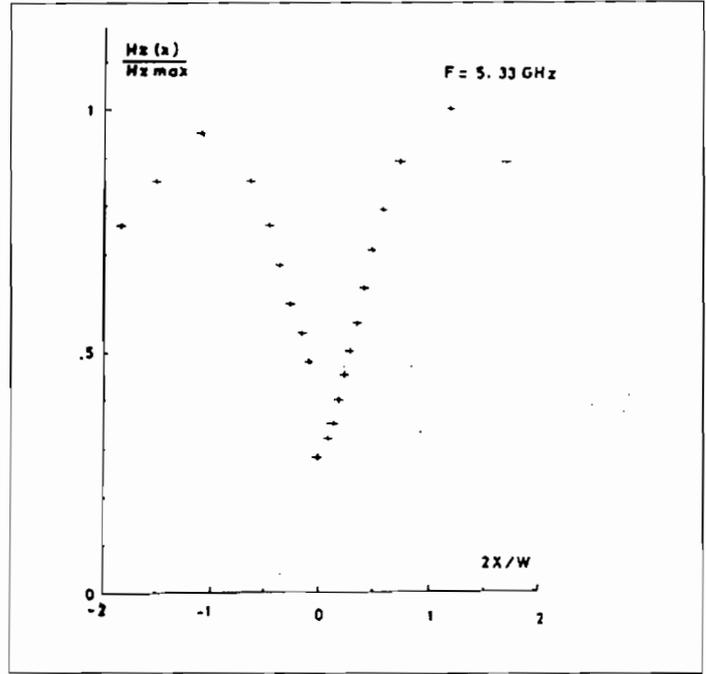


Figure 2.10. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

Enfin, les courbes présentent un champ maximal au point milieu et décroissent rapidement jusqu'à ce qu'ils deviennent progressivement nuls lorsqu'ils s'écartent du point milieu.

Conclusion

Le but de cette expérience est d'étudier le guide d'onde à lame diélectrique. Ceci équivaut à relever la caractéristique de dispersion, les variations du champ électrique et magnétique et de mesurer la constante de propagation, la propagation de la phase.

Cela a permis d'obtenir le relevé des caractéristiques de dispersion.

La dernière permet d'envisager une idée de l'état des lignes étudiées et de leur comportement dans les différentes gammes de fréquence. L'état et le comportement de la ligne étant connus, nous pouvons envisager la réalisation d'une antenne à ondes progressives. □

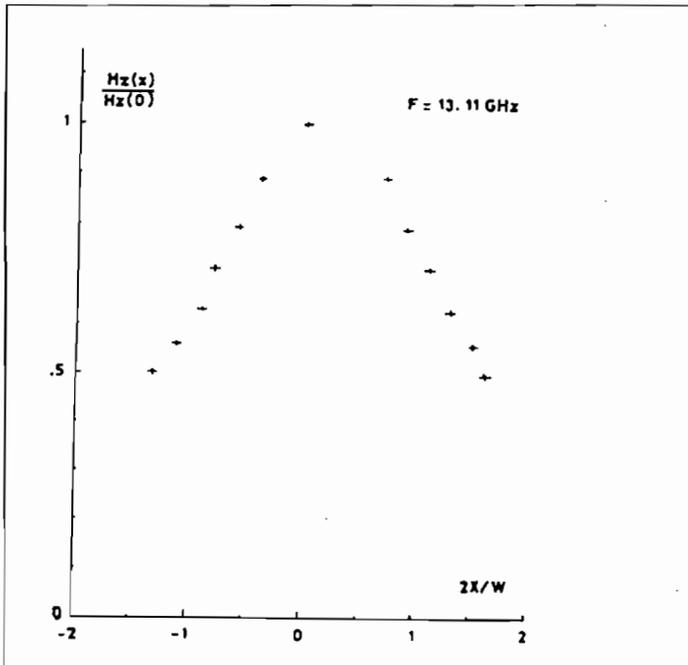


Figure 2.11. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

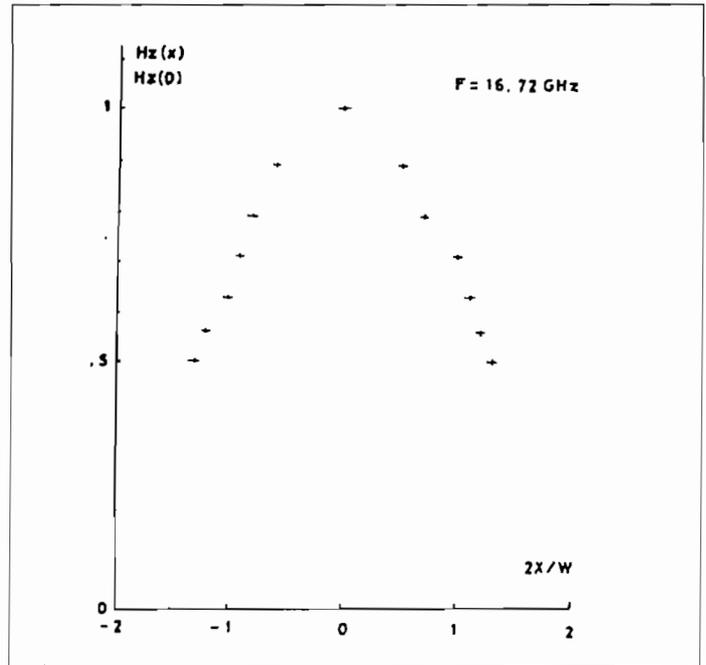


Figure 2.12. Champ magnétique normalisé en fonction des dimensions de la lame.

Références bibliographiques

T. NAKA HARA and N. KURACH. Millimeter waveguides with applications to Railroad Communications advances in Microwaves, Vol. 4 p. 191-298.

A. GARRAULT. Cours micro-ondes DEA - UER des Sciences de Limoges.

PAPIERNICK. Cours électromagnétisme et propagation guidée D.E.A. - UER des Sciences de Limoges.

E. GARDIOL. Higher-Order modes in Dielectrically loaded rectangular waveguides MTT-16 Number 11, November 1968 p. 919-924.

Proceedings National Electronics Conference 1949 tome 5 p. 190-201.

KAZUHIKO OGUSU. Measurements of dispersion characteristics and Field distribution in rectangular - dielectric waveguide and its modification; IEE Vol MTT 26 N0 march 1997.

Résumé

Étude d'un guide d'onde à lame diélectrique en rexolite dans le domaine de 4 à 20 GHz

L'étude expérimentale d'un guide d'onde à lame diélectrique dans la gamme de fréquence située entre 4 GHz et 18 GHz ($\lambda = 75$ mm à 16 mm) nous a permis d'élucider le comportement du guide.

La ligne étudiée est le rexolite, de perméabilité relative $\epsilon_r = 2,54$. La méthode utilisée pour cette étude est le relevé de caractéristique de dispersion et les variations des champs électriques et magnétiques.

Cette étude nous permettra la réalisation d'une antenne à ondes progressives.