

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 11 (1958)  
**Heft:** 7: Colloque Ampère

**Artikel:** Considérations sur quelques méthodes d'étude : en ondes centimétriques et millimétriques : des diélectriques absorbants dont on fait varier l'épaisseur  
**Autor:** Lebrun, A. / Arnoult, R. / Risbourg, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738840>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Considérations sur quelques méthodes d'étude, en ondes centimétriques et millimétriques, des diélectriques absorbants dont on fait varier l'épaisseur**

par A. LEBRUN, R. ARNOULT, A. RISBOURG et E. CONSTANT  
Laboratoire de Radioélectricité et Electronique, Faculté des Sciences, Lille.

Pour obtenir, en UHF, les composantes de la permittivité complexe  $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$  d'un diélectrique liquide on peut placer celui-ci dans une « cellule » de mesure constituée par un tronçon de ligne coaxiale ou de guide

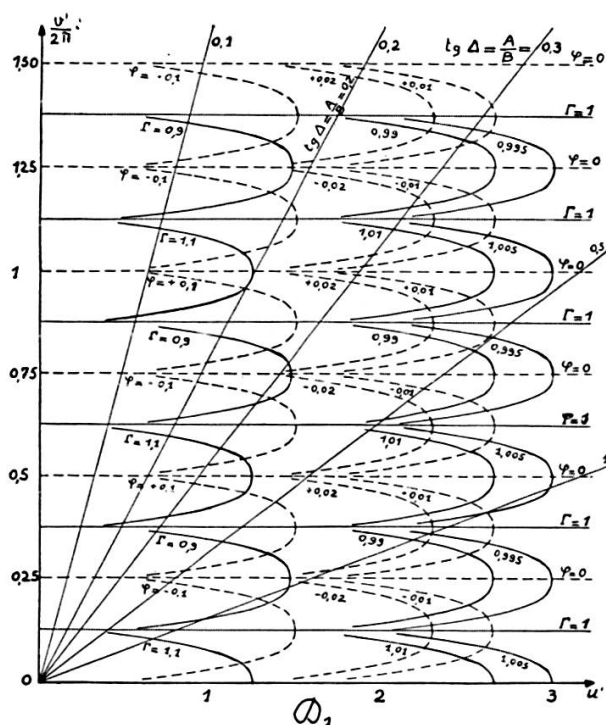


Fig. 1.

d'onde terminé par un court-circuit mobile; on peut ainsi faire varier de façon connue la hauteur  $h$  du diélectrique. Pour déterminer les composantes de l'admittance (réduite) d'entrée ( $y$ ) de cette « cellule », on peut associer celle-ci soit à une ligne de mesure à sonde mobile [1], soit à un « pont »

utilisant un té hybride symétrique, soit à un tronçon de ligne coaxiale ou de guide constituant un dispositif résonnant [2].

Afin d'étudier les meilleures conditions d'emploi de ces différentes méthodes, nous pouvons d'abord formuler quelques remarques concernant la variation de  $y$  avec  $h$ . Nous considérons seulement le cas de substances non magnétiques. Il est commode d'introduire les paramètres  $A$  et  $B$  définis par

$$A + jB = \sqrt{\frac{-\epsilon^* + d}{1 - d}} \quad d = \left(\frac{f_c}{f}\right)^2$$

( $f_c$ : fréquence de coupure, pour le mode utilisé). Ces paramètres sont reliés aux composantes  $\alpha'$  et  $\beta'$  de la constante de propagation  $\gamma'$  dans le guide rempli par

$$A = \frac{\alpha'}{\beta_g}, \quad B = \frac{\beta'}{\beta_g} = \frac{\lambda_g}{\lambda'_g} \quad \left(\beta_g = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{guide}}}\right).$$

Nous poserons

$$\frac{A}{B} = \operatorname{tg} \Delta \quad \text{et} \quad \sqrt{A^2 + B^2} = D . *$$

La théorie des lignes fournit l'expression de l'admittance (réduite) d'entrée de la « cellule » remplie de diélectrique:

$$y = |y| e^{j\theta} = \left(\frac{Y'_0}{Y}\right) \coth \gamma' h = \frac{-j\gamma'}{\beta_g} \coth (\alpha' h + j\beta' h) = \\ (B - jA) \coth (A\beta_g h + jB\beta_g h) = (B - jA) \coth (u' + jv').$$

En posant  $\coth (u' + jv') = \Gamma e^{j\varphi}$  on a  $|y| = D\Gamma$  et  $\theta = -\Delta + \varphi$ .

Le tableau 1 donne  $\Gamma$  et  $\varphi$  pour différentes valeurs de  $h$  particulièrement intéressantes à considérer. (Dans tout ce qui suit,  $m$  désigne un nombre entier et  $n$  un entier impair.)

Il est commode de représenter  $y$  sur un diagramme polaire (en modules et arguments) ( $\mathcal{O}_2$ ) ainsi que  $\coth (u' + jv')$  dans le plan  $u', v'$  (courbes  $\Gamma = \text{Cte}$  et  $\varphi = \text{Cte}$ ) ( $\mathcal{O}_1$ ) (seules ont été tracées les courbes particulièrement intéressantes  $\Gamma \neq 1$  et  $\varphi \neq 0$ ).

( $\mathcal{O}_1$ ). — Pour un diélectrique donné, les valeurs du module et de l'argument de  $\coth (u' + jv')$  correspondant à différentes valeurs de  $h$  se lisent,

---

\* Pour un mode TEM de propagation (ligne coaxiale)  $d = 0$ ;  $A + jB = j\sqrt{\epsilon^*} = jn^*$ ;  $n^* = n - jk$  désigne l'indice de réfraction complexe du diélectrique. On a donc:  $A = k = n\chi$ ,  $B = n$ ,  $\Delta = \frac{\delta}{2}$  avec  $\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$ .

sur  $(\mathcal{O}_1)$ , aux intersections des courbes  $\Gamma = \text{Cte}$ ,  $\varphi = \text{Cte}$  et de la droite  $\text{tg } \Delta = \frac{A}{B}$  correspondant à cette substance. Ceci aide à construire  $(\mathcal{O}_2)$ .

Quelle que soit la méthode utilisée, l'appareil de mesure fournit une réponse dont la valeur dépend de  $y$  et l'on obtient, en faisant varier  $h$ , une succession de maxima et de minima.  $(\mathcal{O}_1)$  permet de prévoir, pour les dié-

TABLEAU 1.

$\frac{\nu'}{2\pi} = \frac{h}{\lambda'_g}$	$\Gamma$	$\varphi$
$\frac{m}{2}$	$\coth u'$	0
$\frac{n}{4}$	$\text{th } u'$	0
$\frac{n}{8}$	1	$\text{arc tg} \left( \pm \frac{1}{\text{sh } 2 u'} \right)$
$\infty$	1	0

lectriques absorbants, le nombre total de maxima et de minima observables et fournit immédiatement, comme cela sera montré plus loin, la valeur de  $A$ , à 4 ou 5% près.

$(\mathcal{O}_2)$ . — Le lieu décrit par le point H représentant sur l'abaque polaire, pour chaque valeur de  $h$ , l'admittance (réduite) d'entrée  $y$  est une spirale s'enroulant plus ou moins rapidement (suivant que le diélectrique étudié est plus ou moins absorbant) autour d'un point asymptote  $H_\infty$  correspondant à une épaisseur « infinie » de diélectrique [3].

Soient  $H_1 H_2 \dots, H_\alpha H_\beta \dots$  les points correspondant respectivement aux intersections de cette spirale et des courbes  $-\Delta = \text{Cte}$  et  $D = \text{Cte}$  relatives à ce diélectrique et soient  $h_1 h_2 \dots, h_\alpha h_\beta \dots$  les valeurs de  $h$  correspondantes.

L'examen du tableau montre que

$$h_\alpha - h_1 = h_2 - h_\alpha = h_\beta - h_2 = h_3 - h_\beta = \dots = \frac{\lambda'_g}{8}.$$

Si l'on connaît l'ordre de grandeur des composantes de la permittivité du diélectrique étudié (donc une valeur approchée de  $A$  et  $B$ ), l'examen de la spirale correspondante permet de prévoir les caractéristiques de la

mesure qui sera effectuée (nombre de maxima et de minima observés, etc.) et de déterminer les valeurs de  $h$  qui, suivant la méthode utilisée, permettront d'effectuer une mesure plus précise de A et B.

On peut associer aux « cellules » à profondeur variable des dispositifs de mesure divers. Nous en avons utilisé trois: (A) une ligne de mesure à sonde mobile (bandes X et K); (B) un té hybride symétrique (bande X)

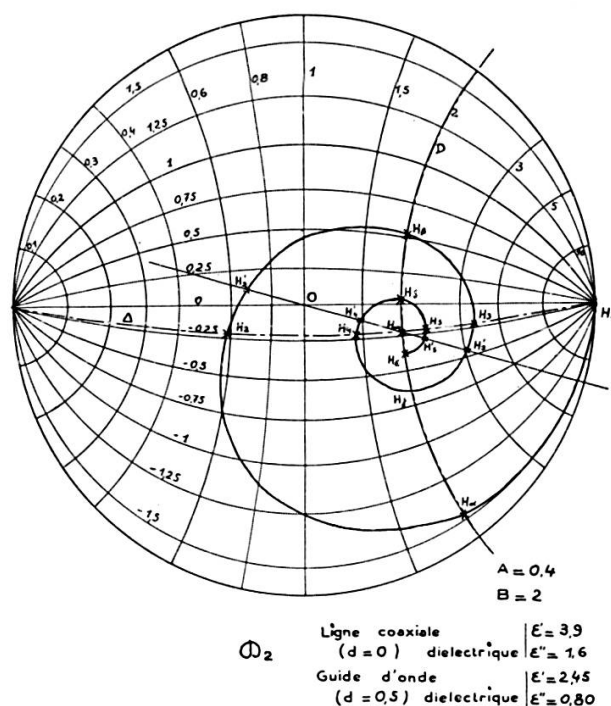


Fig. 2.

(une conductance étalon étant placée dans l'une des branches latérales du té, un déphaseur et l'admittance inconnue dans l'autre); (C) une ligne coaxiale résonnante (bande S) (les courbes de résonance étant obtenues en utilisant un déphaseur réglable ou en faisant varier la longueur de la ligne). Chacune de ces méthodes est applicable à toute fréquence, de 3.000 à 100.000 MHz; il faut cependant remarquer que les mesures utilisant des tés hybrides ou des tronçons résonnants sont plus commodes aux fréquences très élevées. La description détaillée de l'emploi de ces dispositifs ne pouvant être développée ici, seule des indications sommaires seront données.

*Dispositifs (A) et (B).* — Soit  $h_M$  la profondeur maximum de la cellule utilisée. A une fréquence donnée, les diélectriques peuvent être classés en

deux groupes suivant qu'ils sont, ou non, suffisamment absorbants pour que  $h_M$  soit pratiquement assimilable à une profondeur « infinie ».

I. Pour les diélectriques du premier groupe, on effectue deux ensembles, *a)* et *b)*, de déterminations:

*a)* On mesure les composantes de l'admittance d'entrée de la cellule de profondeur « infinie »; on a  $y = B - jA$ ,  $B$  est ainsi obtenu à 2 ou 3% près,  $A$  à quelque 10%. On diminue ensuite  $h$  et l'on note la valeur ( $h_c$ ) pour laquelle une variation de la réponse de l'appareil de mesure est observable. On a préliminairement déterminé pour quelle valeur ( $u'_c$ ) de  $u'$  ce résultat est obtenu pour le dispositif utilisé ( $u'_c$  est généralement de l'ordre de 3); on a  $u'_c = A \beta_g h_c$ , d'où  $A$  (à 4 ou 5% près).

On fait ensuite décroître  $h$ , de  $h_c$  à zéro; on note le nombre total de maxima et de minima et l'on trace sur l'abaque ( $\mathcal{O}_1$ ) la droite  $tg \Delta = \frac{A}{B}$  la plus probable. On obtient ainsi très rapidement, même pour les diélectriques les plus absorbants, la valeur de  $B$ , à 2% près, et celle de  $A$ , à 3 ou 4% près.

*b)* Pour obtenir des valeurs plus précises de  $A$  et de  $B$ , on détermine  $\lambda'_g$  à partir des valeurs de  $h$  permettant d'observer les maxima successifs; on peut, en effet, montrer que les points  $H'_2 H'_4 H'_6 \dots$ , intersections de la spirale et de l'axe  $OH_\infty$  sont tels que

$$h'_4 - h'_2 = h'_6 - h'_4 \dots = \frac{\lambda'_g}{2} (1 + \xi)$$

avec  $\xi \leq 1\%$  [2].

Pour effectuer ces mesures, on prend d'abord  $h = h_M$  (profondeur pratiquement « infinie ») et l'on place la sonde en un point tel que l'on observe alors un minimum de déviation à l'appareil de mesure. On fait ensuite varier  $h$  et l'on note les valeurs  $h'_2 h'_4 h'_6 \dots$  correspondant aux maxima successifs; d'où  $\lambda'_g$  par [2]. On mesure ensuite les composantes de  $y$  pour  $h = h'_2$ ,  $h = h'_4 \dots$  (les mesures les plus précises étant celles pour lesquelles le T.O.S. est voisin de 1); chacune de ces mesures fournit une valeur de  $A$ .

Les valeurs de  $A$  (et celles de  $B$ ) obtenues par les différents procédés indiqués doivent être concordantes (à 1 ou 2% près); si des écarts plus grands sont observés, ils peuvent être dus à une précision insuffisante sur la connaissance de la loi de détection du détecteur utilisé ou à l'influence de la feuille de mica fermant la cellule (à 10.000 MHz, des feuilles ayant une épaisseur de l'ordre de 40 microns nous ont donné satisfaction).

II. Pour étudier les diélectriques du deuxième groupe, on détermine, à l'aide de la ligne de mesure (la sonde étant placée à une distance  $l = m \frac{\lambda_g}{2}$  du plan d'entrée de la cellule), les valeurs de  $h$  fournissant des maxima et des minima; on obtient ainsi un premier groupe de valeurs de B et de A par les mêmes relations que ci-dessus. On trace ensuite une spirale approximative puis on fait une deuxième série de mesures en disposant la sonde à une distance  $l = m \frac{\lambda_g}{2} - \Delta l$ ,  $\Delta l$  étant de l'ordre de  $\frac{\lambda_g}{100}$ ; on obtient alors  $\frac{\lambda'_g}{2}$  et A comme dans I (b).

*Dispositif (C).* — L'utilisation de tronçons résonnants est surtout commode pour l'étude des diélectriques peu absorbants ( $\frac{A}{B} < 0,05$ ). Pour  $h = 0$  (court-circuit dans le plan d'entrée de la cellule), on règle la longueur électrique du tronçon pour obtenir la résonance et l'on trace la courbe de résonance correspondante. Puis on fait croître  $h$ ; on obtient de nouveau une résonance pour  $h = h', h'', \dots$  Pour  $A/B < 0,05$  on a:

$$h' - h_0 = h'' - h' = \dots = \frac{\lambda'_g}{2} (1 + \xi) \quad \text{avec} \quad \xi \leq 1\%$$

(il est possible de tracer une courbe de correction  $\xi(\Delta)$ ); on obtient ainsi B. Pour chacune de ces valeurs de  $h$  on trace une courbe de résonance (à l'aide d'un déphaseur réglable ou en faisant varier la longueur du tronçon); la largeur de chacune d'elles donne une valeur de A.

1. CROUCH, *J. Chem. Phys.*, 16, 1948, p. 364; BROU, *Comptes rendus Acad. Sc. Paris*, 239, 1954, p. 682; POLEY, *Onde élec.*, 35, 1955, p. 455 et *J. Ph. Appl. Sci. Rev.*, B6, 1957, p. 360.
2. ABADIE, *Lab. Nat. Rad. Paris*, note prélim., 22, 1942.
3. ARNOULT et LEBRUN, *Onde élec.*, 35, 1955, p. 448.