



# Caractérisation de matériaux plasma pour la conception de fonctions hyperfréquences

Chruszez Olivier, Prigent Gaëtan, Raveu Nathalie

## Résumé

Une méthode de mesure de la constante diélectrique du plasma a été développée pour déterminer une permittivité relative complexe moyenne dans les conditions d'utilisation et d'excitation. Il s'avère qu'en fonction de l'expansion et des densités en jeu le modèle de Drude n'est pas le plus proche de la réalité physique pour utilisation en milieu homogène sous une ligne microruban.

## 1 - Mesure de la constante de propagation $\gamma$

A partir de la mesure des paramètres S de deux lignes de longueur différente (Figure 1) on déduit la constante de propagation complexe  $\gamma$  de cette ligne. Exprimé en matrices chaines, on a :

$$M_1 = XT_1Y \text{ et } M_2 = XT_2Y$$

$$Tr(M_1M_2^{-1}) = Tr(T_1T_2^{-1})$$

$$Tr(T_1T_2^{-1}) = 2 \cosh(\gamma\Delta L)$$

$$\gamma = \frac{1}{\Delta L} \cosh^{-1}\left(\frac{1}{2}Tr(M_1M_2^{-1})\right)$$

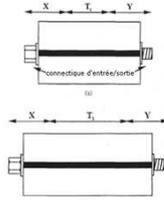


Figure 1

## 2 - Résolution

Modélisation à partir de la théorie des opérateurs avec application de la méthode de Galerkin.

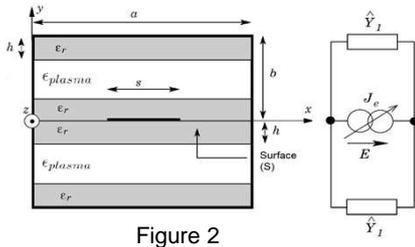


Figure 2

Pour caractériser la ligne triplaquée, le schéma électrique équivalent de la Figure 2 est établi. On résout ensuite ce schéma à partir de la loi d'Ohm et de Kirchhoff. L'équation de dispersion obtenue est:

$$\sum_{\substack{n=0 \\ \alpha=TEouTM}}^{\infty} \frac{\langle g_e | f_n^\alpha \rangle \langle g_n^\alpha | g_e \rangle}{\langle g_n^\alpha | f_n^\alpha \rangle} \cdot \frac{1}{2Y_{1n}^\alpha} = 0$$

Avec  $Y_{1n}^{TE}$  et  $Y_{1n}^{TM}$  admittances de mode TE et TM ramenées en  $y=0$  par rapport au court-circuit placé en  $y=b$ .

Par annulation de la partie réelle et imaginaire de l'équation de dispersion, on peut remonter à la valeur  $\epsilon_{plasma}$ , les admittances de modes étant fonctions de la permittivité relative de la couche plasma et de la permittivité relative du substrat supposée connue.

## 3 - Résultats

Simulations réalisées sur HFSS en prenant une permittivité relative complexe du plasma issue du modèle de Drude.

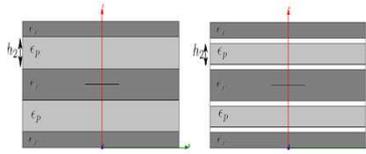


Figure 3.a Figure 3.b

Deux exemples sont traités pour visualiser l'impact de la dispersion volumique du plasma : expansion totale (Figure 3.a) et partielle (Figure 3.b)

Si l'expansion du plasma occupe tout l'espace sous la ligne triplaquée on retrouve une permittivité relative moyenne correspondant strictement au modèle de Drude avec une erreur inférieure à 1,4% sur le calcul de la permittivité relative moyenne du plasma par rapport au modèle de Drude (Figure 4.a et 4.b). Si l'expansion est moindre la permittivité moyenne obtenue s'éloigne du modèle de Drude comme attendu, ce qui justifie cette étude.

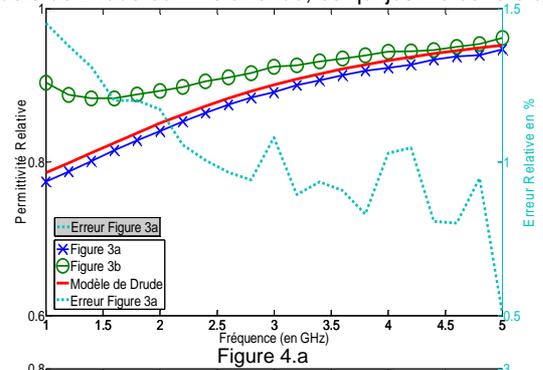


Figure 4.a

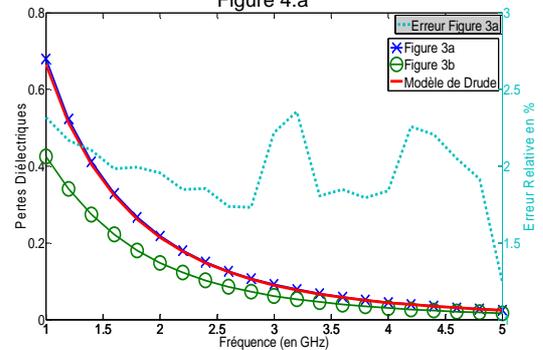


Figure 4.b

## Conclusion

Un protocole de mesure de la permittivité relative moyenne complexe du plasma a été développé et validé par comparaison avec le logiciel FEM référence (HFSS). Les résultats présentent une erreur inférieure à 1,4% pour la permittivité relative moyenne par rapport au modèle de Drude. Ce protocole s'avère primordial dans la caractérisation de la permittivité relative moyenne qui diffère du modèle de Drude en fonction des inhomogénéités des densités électronique et de l'expansion du plasma.

