

# Résolution du problème inverse de source à partir de mesures multiples du champ micro-onde proche

*Mario Le Blanc, étudiant 3<sup>e</sup> cycle*

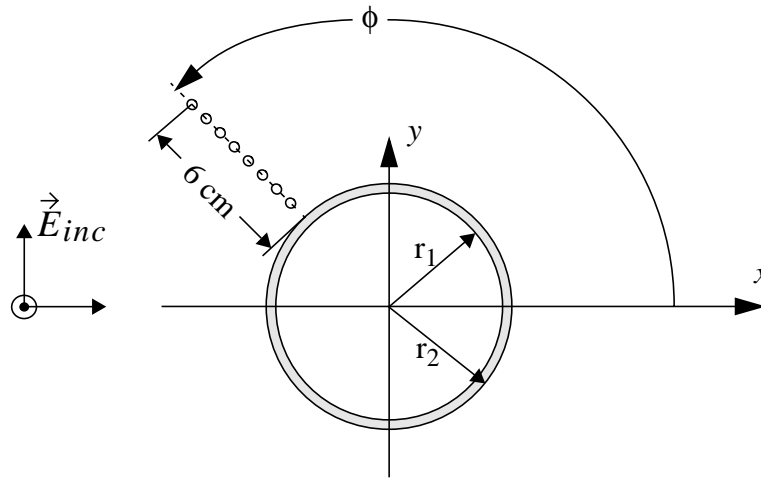
*Dr Gilles Y. Delisle, directeur de recherche*

*Abstract: The model under consideration is a circular cylindrical, lossy dielectric structure, illuminated by a normally incident TE plane wave, at a frequency of 10 GHz. It is shown that an inverse source problem can be formulated, in which the unknowns are the azimuth of the source, as well as its amplitude. Two error functions, as well as two techniques for processing the data are compared.*

*Résumé: En considérant le cas d'un cylindre circulaire diélectrique à fortes pertes, illuminé à incidence normale par une onde plane TE, à une fréquence de 10 GHz, on montre qu'il est possible de poser et de résoudre numériquement un problème inverse de source. Les inconnues sont l'azimut et l'amplitude de la source. Deux fonctions d'erreur et deux manières de traiter les données sont comparées.*

Dans le contexte du développement de nouvelles techniques de dosimétrie micro-onde, motivé par la possibilité d'effets biologiques reliés aux systèmes de communications personnelles, nous avons proposé [1] d'utiliser des réseaux de sondes de champ électrique pour mesurer simultanément le module des composantes radiale, tangente et axiale du champ, en plusieurs points près de la surface du corps. À partir des mesures, on peut déterminer les paramètres de la source, et par la suite calculer le champ à l'intérieur du corps, et donc la dose micro-onde absorbée. Le but de la présente communication est de montrer que, pour un modèle simple du corps humain, on peut résoudre le problème inverse sans ambiguïté, du moins pour le cas de l'incidence normale d'une onde TE. On sait que, dans ce cas, la composante axiale du champ électrique est nulle en tout point.

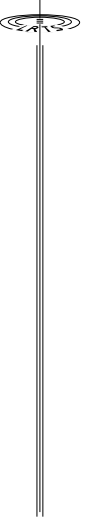
La figure 1 présente la géométrie du problème. En pratique, la position du réseau est fixée, alors que l'angle d'azimut  $\phi$  de la source est inconnu. On peut sans perte de généralité admettre que la source est à  $\phi = 180^\circ$  et que c'est l'azimut du réseau qui est inconnu, ce qui simplifie la représentation des champs par des séries de fonctions de Bessel [1]. On admet que le module des composantes tangente ( $E_\phi$ ) et radiale ( $E_r$ ) du champ électrique total est mesuré aux huit points indiqués, et que  $90^\circ < \phi < 180^\circ$ . Dans ces conditions, on dispose de 16 données expérimentales à partir desquelles on veut déterminer les valeurs de  $E_0$  et  $\phi$ .



**Figure 1** - Géométrie du modèle illuminé par une onde TE;  $r_1 = 0.146$  m;  $\epsilon_{r1} = 39.9 - j18.5$ ;  $r_2 = 0.1524$  m;  $\epsilon_{r2} = 2.6$ . Les petits cercles indiquent les positions des sondes de champ. Le dessin n'est pas à l'échelle.

Nous avons déjà proposé [1] d'utiliser, plutôt que les valeurs des données elles-mêmes, la valeur moyenne ( $T_{r0}$ ,  $T_{\phi0}$ ) et les deux premières harmoniques ( $T_{r1}$ ,  $\Phi_{r1}$ ,  $T_{r2}$ ,  $\Phi_{r2}$ ,  $T_{\phi1}$ ,  $\Phi_{\phi1}$ ,  $T_{\phi2}$ ,  $\Phi_{\phi2}$ ) des transformées de Fourier spatiales de  $E_r$  et  $E_\phi$ , soit un total de deux nombres réels et quatre nombres complexes, avec une fréquence fondamentale de  $(1/0.015)m^{-1}$ . Cette approche présente l'avantage de principe de réduire le nombre de données à considérer (10 nombres réels, ou même 6 si on néglige les phases, plutôt que 16), ce qui paraît souhaitable lorsqu'on passe au cas plus général de l'angle d'incidence quelconque.

L'approche que nous proposons pour résoudre le problème inverse consiste à définir une matrice dont les éléments sont des rapports entre divers couples de quantités scalaires qui seront soit des modules de composantes spectrales de transformées de Fourier, soit les valeurs des mesures de champ électrique elles-mêmes. L'utilisation de tels rapports élimine l'effet de l'amplitude du signal, ce qui permet de trouver l'angle d'azimut. Après détermination de  $\phi$ , l'évaluation de  $E_0$  est immédiate. Dans le cas où on emploie les transformées de Fourier, la matrice des rapports a l'allure suivante:



$$\begin{array}{cccccc}
 T_{r0}/T_{r0} & T_{r0}/T_{r1} & T_{r0}/T_{r2} & T_{r0}/T_{\phi0} & T_{r0}/T_{\phi1} & T_{r0}/T_{\phi2} \\
 T_{r1}/T_{r0} & & & & & \\
 T_{r2}/T_{r0} & \dots & \dots & \dots & & \\
 T_{\phi0}/T_{r0} & \dots & \dots & \dots & & \\
 T_{\phi1}/T_{r0} & \dots & \dots & \dots & & \\
 T_{\phi2}/T_{r0} & & & & & 
 \end{array}$$

On désigne l'élément général de cette matrice par  $MX_{ij}$  s'il s'agit des données expérimentales ou par  $M_{ij}(\phi)$  s'il s'agit de valeurs théoriques. On note aussi que  $M_{ij} = 1/M_{ji}$  et que  $M_{ii} = 1$ , et de même pour  $MX$ .

On peut définir une fonction d'erreur quadratique comme

$$F_{LS}(MX, \phi) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij} \cdot (MX_{ij} - M_{ij}(\phi))^2$$

où  $N = 6$ ,  $P_{ij} = 1$  si  $M_{ij} < 1$ ,  $P_{ij} = 0$  si  $M_{ij} \geq 1$ . On peut aussi définir une fonction d'erreur robuste comme

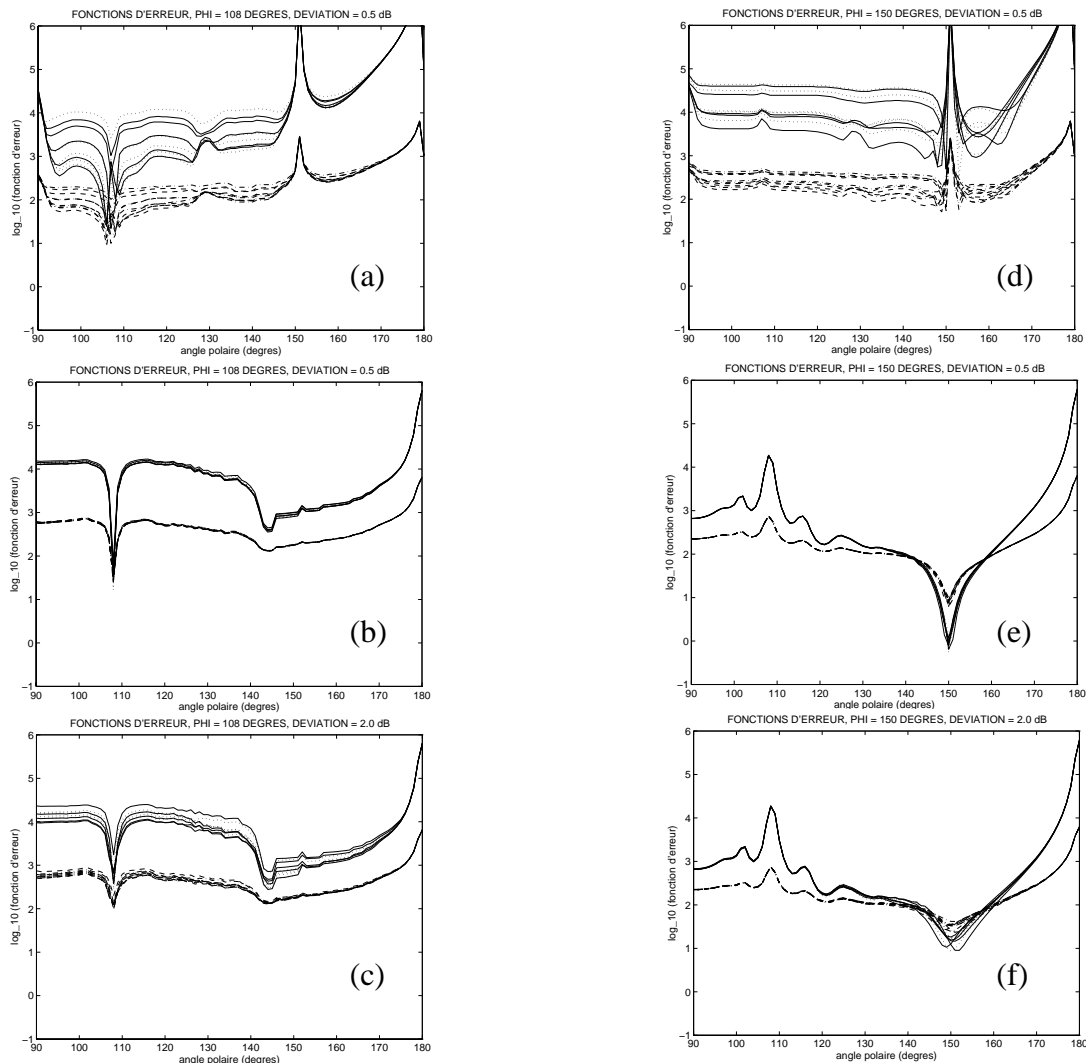
$$F_R(MX, \phi) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij} \cdot |MX_{ij} - M_{ij}(\phi)|.$$

Le poids  $P_{ij}$  permet de tenir compte de toutes les données expérimentales tout en évitant la manipulation de termes comportant des divisions par 0 ou par un très petit nombre. Si on utilise les valeurs des champs elles-mêmes, les termes  $MX_{ij}$  et  $M_{ij}(\phi)$  sont définis de façon similaire, avec maintenant  $N = 16$ .

Afin de comparer ces diverses approches, des simulations ont été effectuées en prenant comme données expérimentales les valeurs théoriques du champ, perturbées pour obtenir des distributions uniformes d'erreurs sur des intervalles de  $\pm 0.5$  dB et de  $\pm 2.0$  dB. Dans chaque cas, on a effectué dix simulations et on a calculé les deux fonctions d'erreur. La figure 2 illustre les résultats pour deux valeurs de  $\phi$ . On constate que l'approche fondée sur la transformée de Fourier ne produit pas un minimum très net dans la valeur de la fonction d'erreur, alors que

l'emploi des données elles-mêmes donne des résultats potentiellement utilisables même avec des erreurs de mesures maximales de 2 dB.

[1]M. Le Blanc, G. Y. Delisle, "Near-Field Measurement of Power Absorption in a Lossy Dielectric at Microwave Frequencies," in Proc. Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering, Halifax, NS, vol. 2, sept. 1994, pp. 572-575.



**Figure 2** - Graphiques des fonctions d'erreur (échelle logarithmique). (a), (b), (c):  $\phi = 108^\circ$ ; (d), (e), (f):  $\phi = 150^\circ$ . (a) et (d): transformée de Fourier, erreur maximale de 0.5 dB; (b) et (e): valeurs du champ, erreur maximale de 0.5 dB; (c) et (f): valeurs du champ, erreur maximale de 2.0 dB. Les courbes supérieures correspondent à la fonction quadratique, les autres à la fonction robuste.