

Paramètres électriques de sols par les équations de propagation : méthode fréquentielle

Thomas Cliche, étudiant 2^e cycle

Dr Dominic Grenier, directeur de recherche

Dr Jean Caron, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Département des Sols et de Génie Agro-alimentaire, co-directeur de recherche

Abstract: The dielectric properties of soils are of considerable practical and theoretical interest from the fact that these can serve as an indicator of soil moisture and soil salinity. The purpose of this project is to design a prototype for the measurement of the soil volumetric water content and soil salinity in pots. A technique is proposed for the measurement of the permittivity using a network analyzer HP-8752C and by the signal measurement developed between the probes' tines filled with soil.

Résumé: Les propriétés diélectriques du sol sont d'intérêts pratiques et théoriques considérables puisqu'elles nous renseignent, entre autre, sur la teneur en eau et la salinité de celui-ci. L'objectif de ce projet est de concevoir un prototype permettant une mesure de la teneur en eau volumique et de la salinité d'échantillons de plantes en pot. Une technique est proposée pour déterminer la permittivité tout d'abord à l'aide d'un analyseur de réseau HP-8752C et par une mesure d'un signal développé entre les tiges d'une sonde insérée dans le matériau analysé.

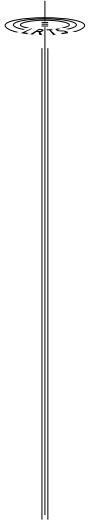
Les propriétés diélectriques du sol sont d'intérêts pratiques et théoriques considérables. Les intérêts pratiques proviennent du fait que la constante diélectrique des sols analysés peut être utilisée comme un indicateur sensible et précis de sa teneur en eau et de sa salinité. Ces deux paramètres sont essentiels à nombre de calculs en physique des sols de façon, par exemple, à optimiser les ressources chez un producteur.

L'objectif de ce projet, réalisé en collaboration avec le Département des Sols et de Génie Agro-alimentaire de la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval, est de concevoir une technique de mesure de la teneur en eau et de la salinité du sol dans des échantillons de plantes en pot.

La technique proposée consiste essentiellement à mesurer la constante diélectrique ϵ_r du sol. On peut en effet exprimer la permittivité ϵ comme :

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_o = \epsilon' - j\epsilon''$$

où $\epsilon_o = 8,854 \times 10^{-12} F/m$ est la permittivité du vide. La partie réelle de cette permittivité ϵ' , est un indicateur du potentiel de polarisation du matériau, incluant l'eau dans notre cas. La



partie imaginaire, ϵ'' , représente les pertes d'énergie par conduction et par pertes diélectriques dans le matériau. On peut exprimer ces pertes comme :

$$\epsilon'' = \epsilon_d'' + \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$$

où ϵ_d'' représente les pertes diélectriques, σ la conductivité des ions (dS/m) et ω la fréquence angulaire.

La réorientation des molécules polaires (l'eau par exemple) dans un champ électrique prend un certain temps. En augmentant la fréquence du champ, les molécules deviennent trop lentes pour se réorienter correctement et, à ces fréquences, la valeur de ϵ' décroît largement. La fréquence à laquelle la valeur de ϵ' décroît de la moitié de sa valeur à fréquence plus basse est appelée fréquence de relaxation. C'est également à cette fréquence que les pertes diélectriques, ϵ_d'' , sont à leurs maxima. Par contre, tel que présenté en figure 1, à des fréquences choisies suffisamment basses, les pertes diélectriques sont négligeables par rapport à la conductivité des ions. Alors : $\epsilon'' \approx \sigma / \omega\epsilon_0$.

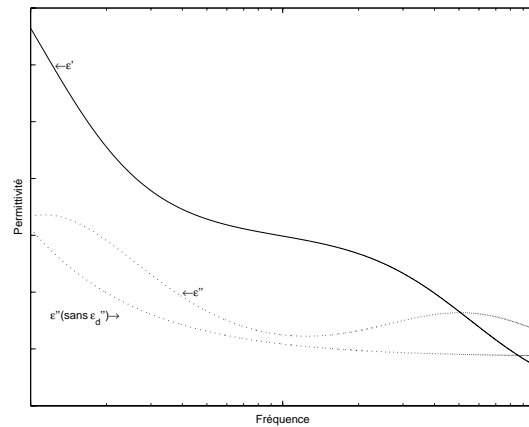


Figure 1 Représentation qualitative de la permittivité du sol en fonction de la fréquence [1].

Puisque la valeur de ϵ' de l'eau est très élevée par rapport à celle des constituants minéraux du sol, celle-ci est fortement liée à la teneur en eau volumique (θ (cm^3/cm^3)) du sol analysé. En effet, la constante diélectrique ϵ' de sols secs se situe aux environs de 5 alors que celle de l'eau est de 80. La mesure de ϵ'' , directement liée à la conductivité du sol, permet une mesure de la salinité du substrat analysé.

Pour procéder à une évaluation de la permittivité d'un échantillon de substrat dans une gamme de fréquences intéressantes, nous construisons (figure 2) une sonde de type coaxial (les 6

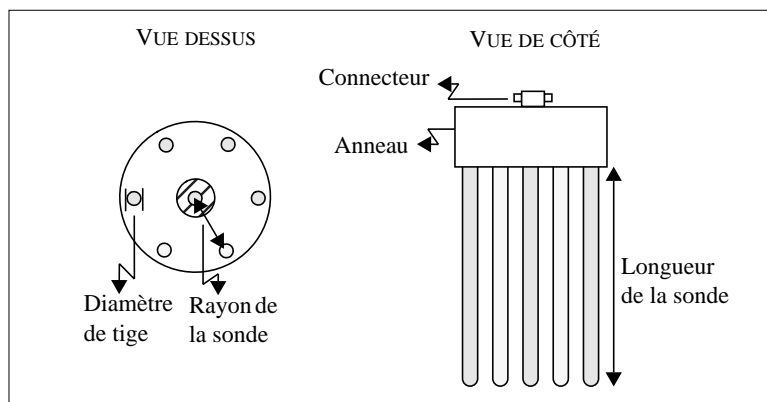


Figure 2 Sonde construite pour la mesure de la permittivité

tiges extérieures à la masse, la tige du centre isolée) ayant les caractéristiques présentées dans le Tableau 1 suivant.

Tableau 1. Paramètres de la sonde construite

Paramètres	Valeur
Longueur de la sonde	72 mm
Rayon de la sonde	16.5 mm
Diamètre de tige	4 mm
Connecteur	BNC

À l'aide de cette sonde, que l'on peut relier à un analyseur de réseau HP-8752C, il est possible de déterminer la permittivité du diélectrique se trouvant entre ses tiges [2] ainsi que les différentes fréquences de relaxation. Essentiellement, l'impédance de la sonde coaxiale Z_s , lorsqu'elle se trouve dans un milieu de constante diélectrique ϵ_r , est déterminée par :

$$Z_s = \frac{Z_o}{\sqrt{\epsilon_r}} \coth \left[j \frac{\omega \sqrt{\epsilon_r} L}{c} \right]$$

où Z_o est l'impédance caractéristique de la sonde dans l'air ($\epsilon_r \approx 1$), L la longueur de la sonde et c la vitesse de la lumière. Un signal est appliqué à la sonde par un câble d'impédance Z_c et la mesure du coefficient de réflexion Γ avec l'analyseur de réseau est reliée à l'impédance de la sonde coaxiale par :

$$Z_s = Z_c \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

de laquelle on tire les parties réelle et imaginaire de la constante diélectrique ϵ_r .

Les expérimentations toujours en cours exigent une préparation minutieuse de nombreux échantillons de substrats de type organique et de type *Premier Promix* pour des teneurs en eau volumique et des salinités connues. De façon à proposer un capteur mesurant la teneur en eau d'échantillons de sols à partir d'une mesure de la permittivité, il sera possible de comparer les valeurs de constante diélectrique avec les résultats bien connus obtenus par Topp et al. [3].

Dans la seconde partie de ce projet, dédié à la construction d'un prototype permettant la mesure précise de la teneur en eau volumique et de la salinité par une mesure de la constante diélectrique complexe, nous mesurerons l'amplitude et la phase d'une tension de fréquence fixée par les expérimentations précédentes entre les bornes d'une sonde répondant aux spécifications du milieu analysé. Le principe de mesure de la constante diélectrique complexe, en utilisant une

mesure de l'impédance complexe entre les tiges de la sonde, montré en figure 3, est basé sur le

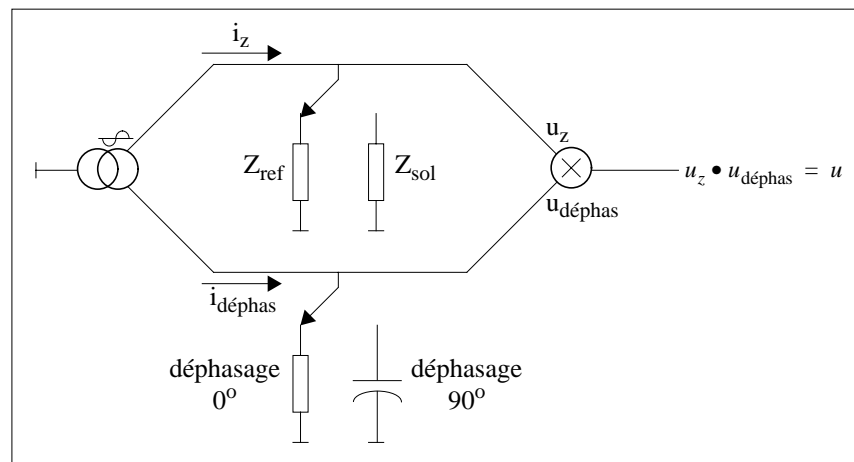


Figure 3 Principe de mesure de l'impédance complexe

principe de détection synchrone [4]. L'oscillateur développe un courant connu dans les deux branches du circuit produisant ainsi une tension inconnue ($u_z = Z_{sol} \cdot i_z$ par exemple) d'un côté et une tension connue ($u_{déphas}$) de l'autre. En multipliant ces dernières, en filtrant le signal et en modifiant, pour une autre mesure, le déphasage dans la deuxième branche, il est possible de déterminer l'impédance inconnue. Les résultats obtenus précédemment seront donc d'une grande importance, dans le choix de la fréquence et de l'amplitude de l'oscillation choisie, de façon à déterminer précisément la teneur en eau volumique et la salinité du substrat étudié

Références:

- [1] Max. A. Hilhorst et C. Dirksen , "Dielectric Water Content Sensors: Time Domain versus Frequency Domain", in : *Proceedings of the symposium on TDR in environmental, infrastructure and mining applications, Department of the interior special publication, SP 19-94*, pp. 22-33,1994.
- [2] Jeffrey E. Campbell, "Dielectric Properties an Influence of Conductivity in Soils at One to Fifty Megahertz", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 54, pp. 332-341, mars-avril 1990.
- [3] G.C. Topp, J.L. Davis, and A.P. Annan, "Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurement in Coaxial Transmission Lines", *Water Ressour. Res.*, vol. 16, no 3, pp. 574-582, 1980.
- [4] Max. A. Hilhorst, Jos Balendonck et Frans W. H. Kampers, "A Broad-Bandwidth Mixed Analog/Digital Integrated Circuit for the Measurment of Complex Impedances", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 28, no. 7, pp. 764-768, juillet 1993.