

REFLECTOMETRE SIX-PORTS POUR LA CARACTERISATION IN-SITU DE L'EAU DES SOLS PAR SPECTROSCOPIE DIELECTRIQUE

P. Xavier¹, P. Ferrari¹, D. Raully¹, J.P. Laurent², B. Mercier²

1 IMEP-LAHC, UMR5130, CNRS-INPG-UJF-U.Savoie, Minatec, 3 Parvis Louis Néel, BP 257, 38016 Grenoble Cedex 1 ;
Tel bureau : 04 56 52 95 69 ; Fax : 04 56 52 95 01 ;courriel : xavier@minatec.inpg.fr
2 LTHE, UMR5564 CNRS-INPG-IRD-UJF Grenoble ; jean-paul.laurent@hmg.inpg.fr

Contexte

La mesure de la teneur en eau des sols est un enjeu majeur qui reste actuel en monitoring environnemental et dont les applications sont multiples (climatologie, agriculture..). Le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et de l'Environnement (LTHE) de Grenoble, en tant qu'un des principaux laboratoires français d'hydrologie, est impliqué depuis de nombreuses années dans le développement et le test de méthodes de mesure diélectrique de la teneur en eau par TDR ou sondes capacitives.

Au cours de ces travaux, le LTHE a pu mettre en évidence le fait que la fréquence à laquelle opère une méthode diélectrique est un facteur à prendre en compte pour analyser la valeur de la permittivité mesurée. En effet, dans un milieu poreux humide tel qu'un sol, on est confronté au problème de la dispersion (vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dépendant de la fréquence) qui résulte des différents états de liaison de l'eau avec la matrice solide, de la minéralogie de celle-ci et du type d'ions en présence dans la phase aqueuse. Au mieux, cela se traduit par des écarts entre mesures opérées à des fréquences différentes et, donc, par une perte de généralité des relations de calibration. Au pire, les pertes deviennent telles que les méthodes de mesures envisagées ne sont plus utilisables. Pour éviter cela, il est donc crucial d'avoir une vision complète du comportement diélectrique (parties réelle et imaginaire de la permittivité) sur toute la gamme de fréquences d'intérêt ce que l'on peut obtenir en faisant ce que l'on appelle de la spectroscopie « diélectrique » ou « d'impédance ».

Nous avons d'abord cherché à faire de la spectroscopie diélectrique à partir de signaux temporels obtenus par TDR [1]. Néanmoins, cette approche a vite montré ses limites notamment à cause du spectre correspondant à l'échelon TDR qui est mal adapté à cet objectif. Il est donc préférable d'effectuer ce genre de mesures directement dans le domaine fréquentiel. Des mesures de permittivités entre 10 MHz et 2 GHz sur des sondes adaptées ont été effectuées en appliquant une méthode simple basée sur un repérage de résonances [2].

Dispositif

Néanmoins, ce type d'équipement étant difficilement utilisable in-situ, nous nous sommes orientés vers le développement d'un système réflectométrique « six ports » équivalent à un analyseur de réseau vectoriel [3]. Ce travail s'effectue sur la base de recherches initiées par Bernard Huyart (Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris) [4] et dans le cadre d'un contrat de Projet Exploratoire Pluridisciplinaire (PEPS) du CNRS intitulé « SISEAU ».

Le réflectomètre « 6 ports » est un système entièrement composé d'éléments passifs (diodes, résistances, inductances, capacités) qui permet de mesurer le coefficient de réflexion d'une charge inconnue. Ce dispositif doit son appellation au fait qu'il est composé de six accès connectés respectivement à la source RF, au dispositif sous test (DUT) et à quatre détecteurs de puissances. C'est à partir des puissances mesurées aux ports 4 à 6 qu'il est possible de calculer la valeur complexe du facteur de réflexion.

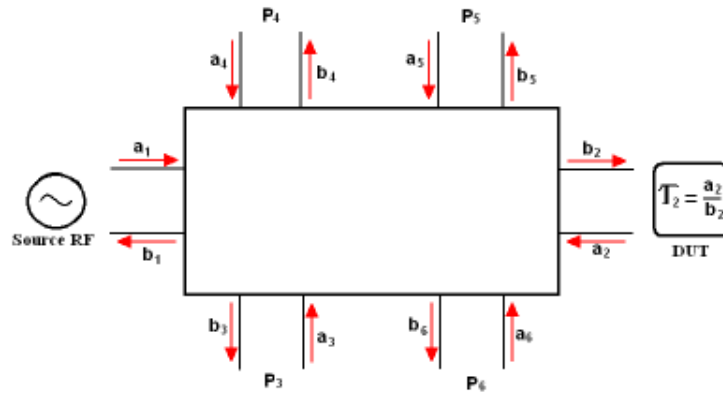
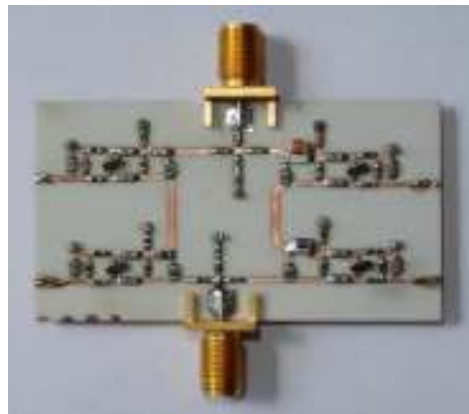


Schéma de principe du réflectomètre « 6 ports »

Outre son faible coût, l'encombrement minimum et la certaine « rusticité » d'un tel dispositif permet d'envisager son utilisation dans des conditions naturelles de terrain. Se pose néanmoins les problèmes de la calibration [5] (influence de la température, notamment), des temps d'acquisition nécessaires et de l'autonomie qui sont regardés avec attention.

Test et Perspectives

Un prototype de système de spectroscopie diélectrique entre 100 MHz et 3 GHz basé sur une technologie « 6 ports » utilisable in-situ dans les sols et autres milieux poreux (roches, matériaux de construction...) a été construit en technologie hybride. Ce prototype est un démonstrateur qui fonctionne avec une source RF extérieure et un PC externe pour la gestion des entrées-sorties de données et le traitement des informations. Il a été testé au laboratoire en ce qui concerne son comportement en température sur des échantillons de billes de verre saturées en eau. Les charges servant à l'étalonnage ont été optimisées mais il reste encore tout un travail sur l'autonomie de l'appareil et l'automatisation des mesures.



Prototype du réflectomètre « 6-ports »

Références

- [1] Laurent J.-P. et P. Ferrari. 2001. In-situ Time Domain Spectroscopy : possibilities, problems and some solutions. Pages 351-358 in C. H. Klaus Kupfer, editor. *Fourth International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances*. MFPA, Weimar, Germany, May 13-16th, 2001.
- [2] P. Ferrari, E. Verney et J.P. Laurent, Méthodes innovantes pour la mesure de la teneur en eau des sols, *Journées Nationales Micro-ondes 2003*, Lille, 21-23 Mai 2003, pp. 2.
- [3] G. F. Engen, The six-port reflectometer: An alternative network analyser, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 25, 1977, pp. 1075-1080
- [4] F. Wiedmann, B. Huyart, E. Bergeault, L. Jallet, New structure for a six-port reflectometer in monolithic microwave integrated-circuit technology, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 46, Avril 1997, pp. 527-530
- [5] F. Wiedmann, B. Huyart, E. Bergeault, L. Jallet, A new robust method for six-port reflectometer calibration, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 48, Oct. 1999, pp. 927-931.