

Mesure de la teneur en eau du sol par les humidimètres capacitifs

(soil moisture measurement using capacitance probe)

Grandeur Mesurée

La grandeur mesurée est la partie réelle de la constante diélectrique (ϵ') du sol à la fréquence de 38 MHz dans le cas des sondes SDEC HMS9000. D'autres modèles d'humidimètres capacitifs existent et ne fonctionnent pas nécessairement à cette fréquence (la sonde thetaprobe utilise une fréquence de 100 MHz). La constante diélectrique de l'eau libre est beaucoup plus élevée (80) que celle des autres composantes du sol (air = 1; matrice solide = 4-7). Ainsi, la principale source de variation de la constante diélectrique du sol est son humidité volumique (θ). Si il existe une bonne relation entre la teneur en eau du sol et sa constante diélectrique, d'autres facteurs interviennent également dans cette relation. Par ordre décroissant d'importance, on peut mentionner :

- la fraction d'eau liée à la matrice solide. La forte valeur de la constante diélectrique de l'eau est due à la polarisabilité des molécules d'eau. Or si ces molécules sont liées électriquement à la phase solide (ou à des ions) du sol, les molécules ne peuvent plus s'orienter dans le sens du champ électrique et se polarisent ainsi beaucoup plus difficilement. Ainsi la composition granulométrique du sol (qui est un indicateur de la surface spécifique de la phase solide du sol, et de la nature électrique de ces surfaces) et la concentration ionique sont des facteurs influençant la relation $\theta=f(\epsilon')$. La matière organique présente également des sites ayant une charge électrique et pouvant influencer la polarisabilité des molécules d'eau.

- L'influence de la température sur la constante diélectrique du sol est double. D'une part, lorsque la température augmente, l'agitation moléculaire s'accroît et vient s'opposer à la polarisation des molécules d'eau. Ainsi ϵ' décroît. D'autre part, la température a tendance à rompre les liaisons électriques de l'eau liée à la matrice

solide. On a donc une augmentation de la quantité d'eau libre d'où une augmentation de la constante diélectrique.

L'influence de la température sur la constante diélectrique conduit à des variations opposées de ϵ' . En général, nous n'avons observé une sensibilité négative de la constante diélectrique à la température que dans le cas des sols sableux. L'influence de la température n'est pas un facteur négligeable et doit faire l'objet d'une correction.

Il est également important de définir le volume de mesure de la sonde capacitive. La mesure de la constante diélectrique des sols est toujours une mesure locale limitée au voisinage des électrodes (~cm). Dans le cas de la sonde HMS9000 on peut considérer que le volume de mesure est un ellipsoïde dont le grand axe (axe défini par les électrode) est de 5 cm et le petit axe de 3 cm. L'aspect locale de la mesure est un élément important à prendre en compte dans les stratégies d'étalonnage.

Principe de la méthode

La mesure de la constante diélectrique consiste à mesurer la capacité d'un condensateur dont l'armature est définie par les électrodes. Le milieu prospecté (le sol) constitue alors le diélectrique de ce condensateur. La mesure de cette capacité se fait en déterminant la fréquence de résonance d'un circuit RLC dont un des élément est le condensateur sol-électrode.

Etalonnage

Les sondes capacitives doivent être étalonnées sur des milieux étalons. L'air ($\epsilon'=1$) et l'alcool ($\epsilon'=25.3$ à 20°C ou $\epsilon'=151.45-0.87020 \cdot T+0.001957 \cdot T^2-0.1551e^{-5} \cdot T^3$ avec T donné en °K). Cet étalonnage permet d'établir la relation entre le signal délivré par le capteur et la constante diélectrique.

La relation $\theta=f(\epsilon')$ dépend du type de sol et de la température. Il existe des modèles qui prennent en

compte ces facteurs (Dobson et al. 1985, Wang et Schmugge, 1980). Ces modèles ont néanmoins été établis à des fréquences supérieures à 1 GHz. D'autre part ils ne prennent en compte l'effet du sol que de manière grossière. L'influence de la température sur l'eau libre est seulement prise en compte. Enfin, le volume de mesure étant petit, la mise en relation des mesures capacitives à une mesure de référence d'humidité peut engendrer un écart entre la relation théorique et la relation $\theta=f(\epsilon')$ expérimentale (Chanzy et al., 1998). Par conséquent, l'utilisation d'une relation d'étalonnage terrain, capteur par capteur est vivement recommandée. En l'absence de points de calibration, il est possible d'utiliser la relation d'étalonnage dont le domaine de validité est limité au domaine de teneur en eau 0.10-0.35 m³/m³ :

$$\theta = -0.0767 + \sqrt{-0.05506 + 0.8788\epsilon'}$$

Description de la mesure

La mesure consiste à installer le capteur dans le sol et faire une mesure. Dans le cas de la sonde SDEC HM9000, le capteur délivre un courant dont l'intensité (4-20 mA) est proportionnel à la constante diélectrique. Après étalonnage, les valeurs de 4 mA et 20 mA correspondent à des constantes diélectriques de 1 et 40, respectivement. Les centrales d'acquisition ne permettent généralement pas la mesure d'intensité. Il sera alors nécessaire de lire la tension aux bornes d'une résistance de précision placée dans la boucle de courant.

La température est une information particulièrement utile si on réalise des mesures au voisinage de la surface ou en profondeur lorsqu'on s'intéresse à de longues périodes. Les sondes HMS9000 sont équipées d'un capteur de température qui délivre également un courant 4-20 mA.

Traitement des données

Les étapes du traitement de données sont les suivantes :

- estimation du facteur de correction de température. Ce coefficient peut être déterminé en laboratoire en faisant des mesures sur un échantillon de sol porté à différentes températures. Il peut être également déduit de l'analyse de l'évolution diurnes des mesures de

constante diélectriques et de température. Ce point est détaillé dans la description des programmes de traitement.

- étalonnage capteur par capteur avec les mesures capacitives corrigées de la température. Les stratégies d'étalonnage sont discutées dans Gaudu et al., 1993 et Chanzy et al. 1998.

Sources d'erreur

Les sources d'erreur sont les suivantes :

- erreur d'étalonnage capteur (air-alcool)
- erreur de l'étalonnage terrain (~0.02 m³/m³)
- bruit du capteur
- erreur sur la température.
- écoulement préférentiel (erreur importante lors des événements pluvieux)

Bibliographie

CHANZY, A., CHADOEUF, J., GAUDU, J.C., MOHRATH, D., RICHARD, G., BRUCKLER, L., 1998. Monitoring soil moisture at the field scale using automatic capacitance probes, *European Journal of soil Science*, 49, 637-648.

Dobson M.C., F.T Ulaby, M.T. Hallikainen, and M.A. El Rayes, "Microwave dielectric behavior of wet soil-part II : dielectric mixing model", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol 23, pp. 35-46 (1985).

GAUDU J.C., MATHIEU J.M., FUMANAL, J.C., BRUCKLER L., CHANZY A., BERTUZZI P., STENGEL P., GUENNELON R., 1993. Mesure de l'humidité des sols par une méthode capacitive: Analyse des facteurs influençant la mesure, *Agronomie (FRA)*, 13, p 57-73.

Wang J.R. and T.J. Schmugge, " An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol 18, pp. 288-295 (1980).

*André CHANZY et Jean-Claude GAUDU
Novembre 1999*