

INTRODUCTION

Connaître la teneur en eau du sol est un facteur important pour comprendre les mécanismes d'infiltration et de percolation dans le sol. Les méthodes de réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) permettent de déterminer la teneur en eau volumique rapidement et de manière non destructive. Les sondes Water Content Reflectometer (WCR) développées par Campbell Scientific⁽¹⁾, ont l'avantage par rapport aux sondes TDR d'un monitoring permanent ainsi qu'un faible coût. Les relations signal-teneur en eau de Topp et de Campbell Scientific ne fonctionnent pas dans les sols marneux et argilo-calcaires. Afin d'obtenir une relation signal-teneur en eau adéquate pour ces sols des expérimentations en laboratoire ont été réalisées.

LOCALISATION ET PRÉSENTATION DES SITES D'ÉTUDE



- La zone d'étude est localisée au Sud-Est de la France dans les Alpes de Haute-Provence, à une dizaine de kilomètres de Dignes-les-Bains.
- Elle est intégrée dans les Bassins Versants de Recherche et Expérimentation (BVRE) de Draix coordonnés par le CEMAGREF de Grenoble.

Cette zone d'étude est composée de deux sites :

SITE A

Le site A est une interfluve entre deux petits bassins versants marneux. Elle est composée de colluvions argilo-calcaires variant de 1 à 6 m d'épaisseur surmontant des marnes saines fracturées.

SITE B

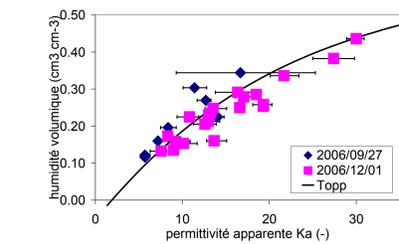
Le site B est un petit glissement de terrains marneux. Il est composé de marnes noires altérées sous formes de paillettes ainsi que de blocs marneux altérés. Ce sol forme un ensemble fortement hétérogène.

INSTRUMENTATION

- Chaque site a été instrumenté par une station de bilan hydrique comprenant des sondes de températures, des tensiomètres, des sondes capacitatives ainsi que des sondes WCR CS 616 installées jusqu'à une profondeur de 1m
- Sur chaque site, 4 sondes WCR CS 616 associées à des sondes de température ont été installées horizontalement sur un profil vertical dont les profondeurs d'implantation sont données dans le ta-

	Profondeur d'implantation	
	SITE A	SITE B
	12 cm	13 cm
	30 cm	30 cm
	55 cm	50 cm
	85 cm	78 cm

MESURES TDR TRASE : SITE B



Sur le site B, en septembre et décembre 2006, des mesures TDR Trase ont été effectuées dans des zones avec différentes humidités. Ces mesures ont été couplées à des prélèvements gravimétriques volumiques. La figure 1 montre que la relation de Topp⁽¹⁾ reliant la permittivité à la teneur en eau peut s'appliquer à un sol marneux altéré.

Fig. 1 : Relation permittivité apparente-humidité volumique sur le site B

MISE EN ÉVIDENCE DE PROBLÈMES DE CALIBRATION

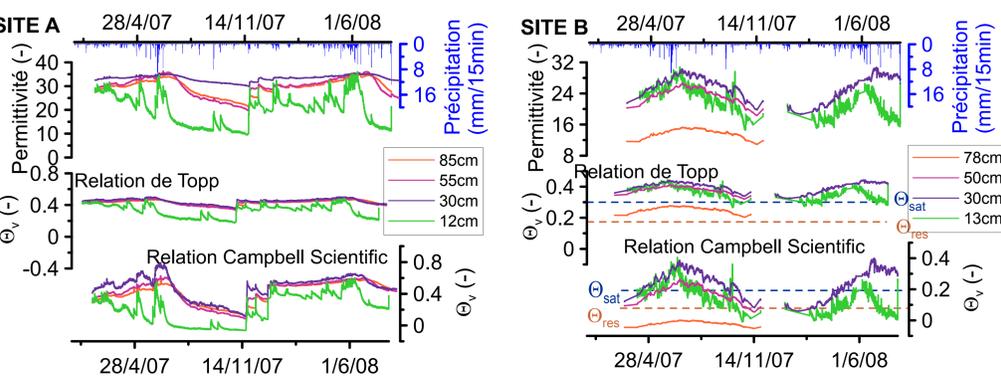


Fig. 2 : Chroniques de données WCR sur le site A et site B exprimées en permittivité, teneur en eau volumique (θ_v) selon la relation Campbell Scientific⁽²⁾ et la relation de Topp⁽¹⁾. θ_s et θ_r correspondent respectivement à la moyenne de la teneur en eau à saturation et la moyenne de la teneur en eau résiduelle calculées à partir de mesures WIND effectuées sur 5 échantillons du site B.

1. MAUVAISE ESTIMATION DE LA TENEUR EN EAU PAR LES RELATIONS DE TOPP ET DE CAMPBELL SCIENTIFIC

La réponse du signal des sondes WCR est cohérent aux événements pluvieux comme il est montré sur la figure 2. Pour le site A comme pour le site B, la relation de Topp surestime les teneurs en eau, elles sont aux alentours de 40% pour le site A ce qui est trop important pour un sol argilo-calcaire compact et pour le site B les teneurs en eau sont surestimées de 10% si l'on compare à θ_s et θ_r . Quand à la relation donnée par Campbell Scientific, que ce soit pour le site A ou pour le site B elle accentue beaucoup trop la variation de l'humidité, par exemple pour le site 1, à 12 cm, par cette relation des teneurs en eau deviennent négatives.

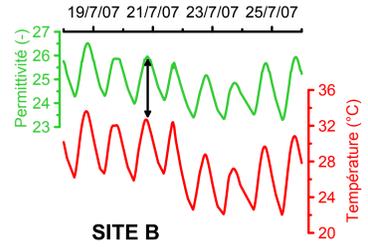
POURQUOI CES PROBLÈMES DE CALIBRATION ?

→ La relation de Topp a été établie pour les méthodes TDR dont la fréquence de mesures est différente de la méthode WCR. Les méthodes TDR utilisent une fréquence de l'ordre du GHz alors que les sondes CS 616 ont une fréquence de 175 MHz⁽³⁾.
→ La relation donnée par Campbell Scientific a été calibrée pour des sols sablo-limoneux avec une faible conductivité apparente du sol ($< 0.5 \text{ mS/cm}$)⁽²⁾. Les propriétés physiques des sols étudiés ici sont complètement différentes. Les sols comportent une forte proportion d'argile ($> 40\%$) et la conductivité de la solution de sol est de l'ordre de 2-3 mS/cm.

→ Quel est le rôle des propriétés physiques du sol et de l'eau dans la relation permittivité-teneur en eau ?

2. OSCILLATIONS JOURNALIÈRES DU SIGNAL

Le signal permittivité présente des oscillations journalières qui concordent parfaitement aux variations journalières de température (Figure 3). Le pic journalier de permittivité correspond au pic de température.



→ HYPOTHÈSES SUR L'ORIGINE DE CETTE VARIATION :

S'agit-il d'une variation de la teneur en eau par libération d'eau des feuillets d'argiles lorsque la température augmente?

Ou bien, est-ce que la température influe soit sur les propriétés électroniques du capteur soit sur les propriétés physiques du sol ?

Il nous a donc paru nécessaire d'effectuer en laboratoire deux types d'expérimentations :

- étalonnage des sondes dans un bain d'éthanol à différentes températures pour connaître le rôle des propriétés électroniques de la sonde sur la variation du signal.
- étalonnage des sondes sur monolithe de sol par variation de la teneur en eau et de la température pour comprendre l'influence du sol et de l'eau sur la variation de la permittivité:

ÉTALONNAGE DES SONDES CS616 DANS UN BAIN D'ETHANOL

PRINCIPE :

Les sondes sont immergées pendant 5min dans un bain d'éthanol thermostaté pour les températures de 45, 35, 25, 15, 5 et -5°C .

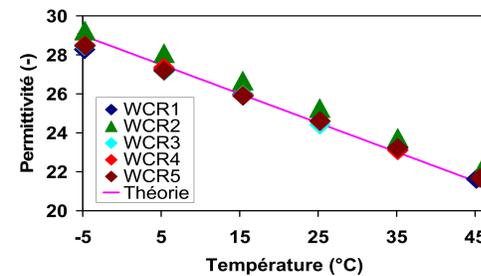


Fig. 4 : Comparaison de la permittivité moyenne mesurée dans l'éthanol pour 5 sondes WCR CS616 comparée à la permittivité théorique de l'éthanol à différentes températures.

RÉSULTATS :

La figure 4 montre que la permittivité mesurée est en accord avec la permittivité théorique de l'éthanol.

CONCLUSION :

L'effet de l'électronique du capteur sur le signal en sortie est négligeable. Les variations de signal observées sont donc liées aux propriétés physiques du matériau et de l'eau in situ.

ÉTALONNAGE DES SONDES CS616 DANS DES MONOLITHES DE SOL

PRINCIPE : mesurer la réponse des sondes CS616 implantées dans des monolithes de sol portés à différentes humidités, en faisant varier la température pour chaque humidité.

Sur chaque site, 1 colonne de sol a été prélevée.

Lors des mesures, les colonnes de sol sont fermées hermétiquement pour éviter toute évaporation. Les colonnes sont portées à différentes humidités en partant de la saturation en les laissant se dessécher (ouverture des couvercles haut et bas). Avant chaque mesure, les couvercles sont remis en position et la colonne est placée horizontalement jusqu'à rééquilibrage du potentiel. A différents états d'humidité, des mesures ont été effectuées dans une armoire cli-



PREMIERS RÉSULTATS : TENEUR EN EAU À SATURATION

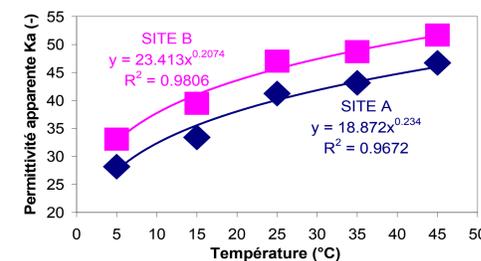


Fig. 5 : Résultats expérimentaux à saturation de la variation de la permittivité en fonction de la température pour les colonnes de sol issus du site A et du site B.

A saturation, le signal des CS 616 est très sensible aux variations de température (Figure 5). Pour les deux colonnes, les mesures indiquent une augmentation de la « permittivité » de 18 points lorsque la température passe de 5°C à 45°C . Les courbes $Ka=f(T)$ de chacun des sites ont sensiblement la même forme mais décalées l'une par rapport à l'autre.

Nous pouvons en déduire qu'à saturation, la variation de la permittivité est principalement sensible à la variation de la température de l'eau. La différence texturale des deux sols n'engendre qu'un décalage de signal entre les deux courbes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'expérimentation dans l'éthanol a montré un effet négligeable de l'électronique de la sonde sur les variations de permittivité.

Les premiers résultats issus de la calibration du signal CS 616 en laboratoire montrent la nécessité de cette expérimentation pour bien déterminer la relation permittivité-teneur en eau pour ces deux sols, et ainsi pouvoir mieux comprendre les rôles des propriétés du sol et de l'eau sur le signal des WCR CS 616.

A une échelle plus large, cette calibration permettra de mieux comprendre et de quantifier le rôle de l'infiltration dans ces terrains hétérogènes.

RÉFÉRENCES

- ¹TOPP G.C., DAVIS J.L., ANNAN A.P., 1980 – Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16:574-5.
- ²CAMPBELL SCIENTIFIC INC., 2004 – CS616 and CS625 water content reflectometers instruction manual. Campbell scientific Inc., Logan, UT.
- ³KELLEHERS T.J., SEYFRIED M.S., BLONQUIST JR M., BILSKIE J., CHANDLER D.G., 2005 – Improved interpretation of water content reflectometer measurements in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1684-1690.

⁽¹⁾Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, UMR INRA-UAPV 1114 (EMMAH), Avignon, France

⁽²⁾INRA, UMR INRA-UAPV 1114 (EMMAH), Avignon, France

emilie.garel@univ-avignon.fr

