

## Estimation du contenu en eau de la litière d'une forêt de pin par une mesure automatisée à l'aide de capteur d'impédance

<sup>1</sup>Alain Kruszewski, Jean-Pierre Wigneron et Jennifer Grant<sup>2</sup>

**Résumé :** Nous présentons les résultats obtenus pour le suivi de la teneur en eau de la litière d'un écosystème landais (site du Bray). La mesure en continu à l'aide de sonde Theta Probe reliée à une centrale nous a permis de préciser l'évolution de ce paramètre et sa relation avec la teneur en eau du sol. Cette méthode simple peut être utilisée dans d'autres contextes en appliquant des procédures adaptées d'étalonnage.

**Mots-clés :** humidité, sol, litière, forêt, impédance, micro-onde, theta probe



**Photo 1 :** Sonde Theta Probe ML2x

### Introduction

Les sondes "Theta Probe" (**photo 1**) sont utilisées dans les instituts de recherche pour mesurer le contenu en eau volumique du sol (SM,  $m^3/m^3$ ). Ces sondes sont sensibles à la variation de la constante diélectrique du sol qui est convertie en une variation de tension (U, mV) avant d'être convertie en un terme d'humidité du sol *via* une relation d'étalonnage, celle-ci étant fonction du type de sol. Dans cette étude nous présentons un mode d'utilisation de la Theta Probe qui n'est pas documenté dans la littérature et qui présente un intérêt fort dans les études sur le fonctionnement hydrique et carboné des forêts : le suivi de l'humidité gravimétrique de la litière (LM, kg/kg).

Des sondes ont été implantées dans la litière de couverts de pins de la forêt des Landes pendant 6 mois. Des étalonnages réguliers, *in situ* et en laboratoire, ont montré que le signal produit par la sonde était bien relié à LM sur une large gamme de conditions d'humidité.

<sup>1</sup> INRA – Ecologie fonctionnelle et physique de l'environnement – BP 81 – 33883 Villenave d'Ornon  
☎ 05 57 12 24 36 [alain.kruszewski@bordeaux.inra.fr](mailto:alain.kruszewski@bordeaux.inra.fr), [jpwigner@bordeaux.inra.fr](mailto:jpwigner@bordeaux.inra.fr)

<sup>2</sup> Dept. Hydrology and Geo-Environmental Sciences – Vrije Universiteit De Boelelaan 1085  
1081 HV Amsterdam – The Netherlands

## 1. Matériels et Méthodes

### 1.1 Les Sondes « Theta probe »

Ces sondes (Delta-T Devices Ltd., Cambridge) sont couramment utilisées pour mesurer le contenu en eau volumique du sol (SM,  $m^3/m^3$ ). Ces sondes sont sensibles, *via* une mesure d'impédance, à la variation de la constante diélectrique du sol, convertie en une variation de tension (U, mV), puis en un terme d'humidité du sol volumique (rapport du volume d'eau présent dans l'échantillon par le volume de sol de l'échantillon) en utilisant une table de linéarisation et des paramètres caractéristiques. Deux paramètres ( $a_0$  et  $a_1$ ), en fonction du type de sol, suffisent pour cette conversion. Des valeurs standard de  $a_0$  et  $a_1$  pour différents types de sol, ou des valeurs empiriques obtenues par étalonnage (par l'utilisateur lui-même) peuvent être utilisées.

Ces sondes sont composées de quatre aiguilles de 6 cm : trois forment un triangle équilatéral et une est placée au centre. Elles peuvent être implantées en surface du sol, en position légèrement inclinée (une mesure intégrée de l'humidité sur environ les 5 premiers centimètres est alors obtenue), ou en profondeur (horizontalement ou verticalement). La zone sondée autour des aiguilles est de l'ordre de 1 à 2 cm (sa dimension varie avec l'humidité et le type de sol).

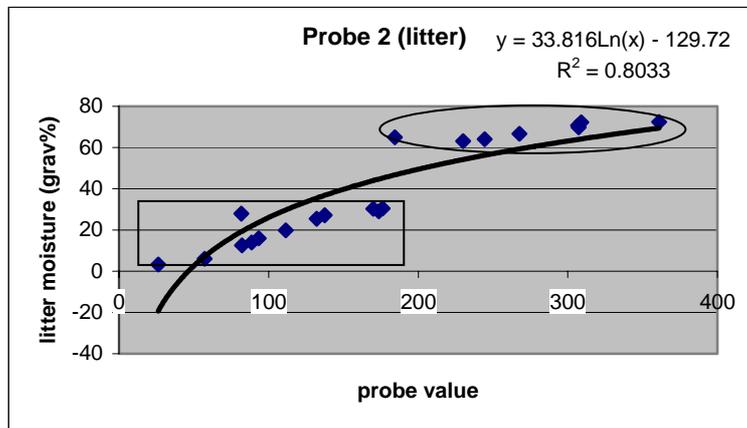
### 1.2 Mesure de l'humidité de la litière

Une expérience de télédétection en radiométrie micro-onde a été conduite dans une parcelle de pin Maritime (site du Bray, forêt des Landes) fin 2004. Un capteur passif a été installé sur la tour du Bray à 36 m au-dessus de la forêt pendant 6 mois. Les mesures étaient conduites toutes les heures. L'objectif de l'expérience était d'évaluer l'intérêt des mesures micro-ondes passives pour suivre en continu les caractéristiques hydriques du couvert, en terme de contenu en eau du sol et de la litière et d'eau interceptée par la végétation (Grant *et al.* 2006). Afin de comparer les mesures de télédétection avec les caractéristiques de la surface, il était important de disposer de mesures très fréquentes de l'humidité du sol et de la litière. Pour suivre cette dernière, des sondes "Theta Probe" ont été implantées pendant 6 mois dans la litière de la parcelle pour en mesurer le contenu en eau gravimétrique (LM). Ce contenu est défini comme le rapport du poids du volume d'eau présent dans l'échantillon par le poids de l'échantillon de litière. L'implantation des sondes était très simple : les sondes ont été enfoncées en surface dans une couche de litière épaisse (> 6 cm), avec une légère inclinaison préconisée par la méthode constructeur. Elles étaient reliées à une centrale d'acquisition Campbell (21X) qui permettait une scrutation des mesures toutes les 10 secondes et de fournir une valeur moyenne toutes les 30 minutes. Cet enregistrement qui a duré plusieurs mois a permis de suivre en continu les variations d'humidité de la litière. La sortie des sondes consistait en une mesure de tension (U, mV) qui était convertie en une valeur d'humidité gravimétrique LM *via* une relation d'étalonnage.

Pour étalonner les sondes, des mesures de LM par prélèvement de litière au voisinage des sondes ont été conduites régulièrement *in situ* et aussi en laboratoire à la fin de l'expérience, les sondes étant alors implantées dans des seaux remplis de litière. La mesure de LM était effectuée en pesant le poids de l'échantillon avant (Poids Frais,  $P_F$ ) et après (Poids Sec,  $P_S$ ) passage dans une étuve à 60-65° pendant au moins 3 jours. Le poids d'eau de l'échantillon ( $P_E$ ) est obtenu en faisant la différence entre le poids frais et sec ( $P_E = P_F - P_S$ ).

## 2. Résultats

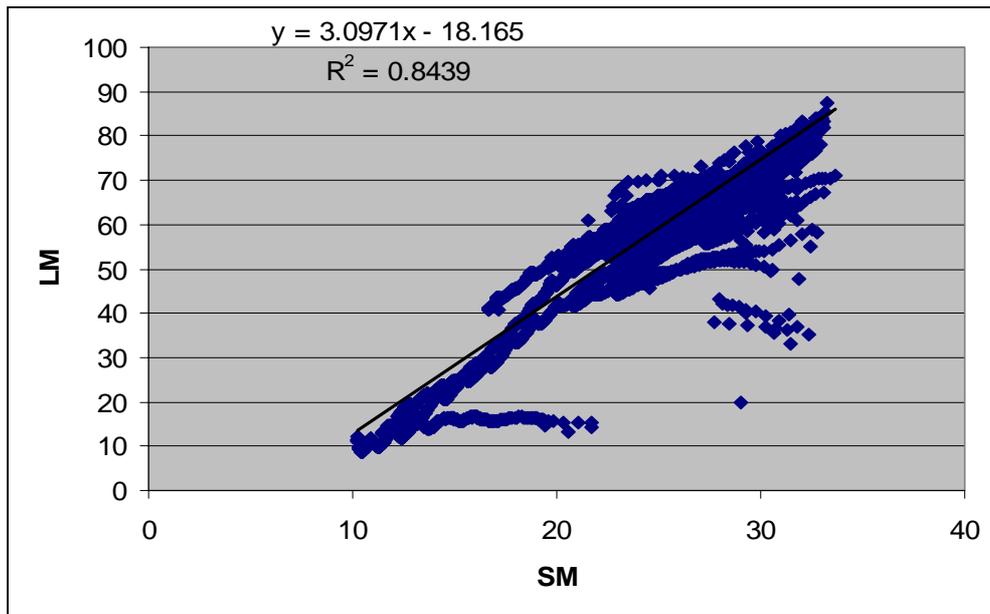
La relation entre la tension de sortie des sondes (U) et l'humidité de la litière (LM) est illustrée dans la **figure 1** pour une des 3 sondes implantées (résultats représentatifs des résultats d'ensemble).



**Figure 1** : Relation entre LM et U (probe value) pour une des trois sondes implantées dans la litière du site du Bray (Exp. Bray'04, Grant et al. 2006). La figure inclut les points de mesures *in situ* ( $LM > 60\%$ ) et en laboratoire ( $LM < 40\%$ ).

La figure inclut les points de mesures *in situ* ( $LM > 60\%$ ) et en laboratoire ( $LM < 40\%$ ). Bien que constituée de deux groupes bien différenciés de points de mesures, on peut noter la relation, de type logarithmique, entre U et LM. Cette relation est variable d'une sonde à l'autre ; elle varie probablement avec la structure et la densité de litière présente au contact des 4 aiguilles des sondes. Un étalonnage de la relation LM – U doit donc être effectué pour chaque sonde mise en place. De 5 à 10 prélèvements pour des conditions variées de l'humidité de la litière sont requis pour cet étalonnage.

Les mesures de LM conduites pendant 6 mois ont été mises en relation avec l'humidité du sol (couche minérale), mesurée également à l'aide de sondes Theta Probe juste sous la couche de litière. Cette relation est illustrée dans la **figure 2** pour les six mois d'expérience (de juillet à décembre 2004). La plupart des points de mesures faits en conditions automnales correspondent à des conditions relativement humides de la surface ( $SM > 20\%$  et  $LM > 50\%$ ). Cette figure montre que la relation obtenue entre l'humidité du sol et celle de la litière est sensiblement linéaire ( $R^2 = 0,84$ ), bien que plusieurs épisodes d'humidification ou de dessèchement sortent nettement de cette relation générale. A notre connaissance très peu de résultats de ce type sont décrits dans la littérature.



**Figure 2 :** Relation entre l'humidité du sol SM ( $m^3/m^3$ ) et celle de la litière (LM) sur le site du Bray ( $R^2 = 0.84$ ) – tiré de Grant et al. (2006).

## Conclusion et perspectives

Alors que dans beaucoup d'écosystèmes la litière (Ol) est peu présente, le type d'humus sous pinède landaise est bien spécifique avec des horizons Ol, Of et Oh épais (humus de type dysmoder). L'épaisseur de la couche de litière en pinède landaise est donc souvent très importante. Pour ce type de couvert, il est donc nécessaire de bien caractériser la litière et de suivre son humidité (LM) pour comprendre et modéliser le fonctionnement des couverts en terme d'hydrologie (elle a un rôle important dans les flux d'évaporation, le ruissellement, etc.), de cycle du carbone (elle a un rôle clé dans le terme de stockage en surface), d'écologie (rôle sur l'attractivité de l'habitat ...). Pour de nombreux travaux de recherche il y a donc un fort intérêt à faire un suivi continu de cette variable. La mesure très simple que nous avons mise en oeuvre permet de faire un suivi continu de LM, moyennant l'étalonnage de chacune des sondes mises en place.

## Bibliographie

Grant JP, Wigneron JP, Van de Griend AA, Schmidl Søjbjerg S, Skou N (2006) Bray-2004' field experiment on microwave forest radiometry: L-band signal behaviour for varying conditions of surface moisture', *Remote Sens. Env.*, *submitted*.

User Manual for the Moisture Meter (2002), Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK.