

# Mesures d'humidité du sol au Gourma

Patricia de Rosnay Franck Timouk,  
Fabien Christian, Mamadou Doumbia

Campagne terrain du 9 au 20 juillet 2005

## Table des matières

1	Objectifs	1
2	Logistique	1
3	Installation de la fosse humidité du sol de Tin Zaket	2
4	Etalonnage des huit stations d'humidité du sol	4
5	Transects kilométriques	4
6	Courbes caractéristiques	8

# 1 Objectifs

Outre le suivi de l'installation météorologique et des stations de flux, cette mission avait pour objectif principal les mesures d'humidité du sol sur la fenêtre méso échelle du Gourma Malien (fiche instrument EF14). La mission a consisté à :

- Compléter le réseaux de mesures d'humidité du sol par l'installation d'une huitième station située sur le transect nord-sud à Tin Zaket (nord de Tin Tadéni).
- Vérifier les stations en place et récupérer les données.
- Etalonner, en saison humide, les huit stations du réseau de mesure d'humidité du sol par la méthode gravimétrique et établir les profils de densité de sol sur l'ensemble des stations.
- Prélever sur différents sites des échantillons de sol pour établir les courbes caractéristiques du sol
- Mesurer l'humidité de surface du sol le long de transects kilométriques (upscaling en modélisation et télédétection) en continuité des mesures de 2004.

Tous ces objectifs ont été remplis, permettant de rentrer à Bamako le 21 juillet au soir pour rédiger un rapport de mission le 22 juillet.

Ce rapport de mission concerne la partie humidité du sol. Il ne contient pas d'analyse scientifique mais décrit succinctement les mesures et installations conduites pendant cette campagne de juillet 2005.

# 2 Logistique

La mission s'est remarquablement déroulée du 9 au 20 juillet sur le terrain. L'occurrence fréquente d'évènements pluvieux en début de mission a permis de rencontrer une large diversité de niveaux d'humidité du sol, avec un assèchement important en fin de période sur le site 17.

Trois étagères de quatre niveaux chacune ont été installées le 9 juillet dans la régie pour en faciliter un peu le rangement (Figure 1). Le seul réel problème rencontré a concerné la balance sur place à Hombori qui s'est avérée complètement fautive. L'erreur a été estimée en utilisant les boîtes gravimétriques de  $100\text{ cm}^3$  remplies d'eau. Elle était de l'ordre de 40% lors des premières mesures puis est descendu à 20% après que Franck ait démonté et nettoyé la balance. Cette erreur de 20% ne permettait pas de faire de pesées sur place. Ce problème a remis en cause les objectifs de la mission sur la calibration par gravimétrie, qui nécessitaient de faire des pesées d'échantillons de sol. Les mesures gravimétriques ont pu avoir lieu en fermant hermétiquement avec du ruban adhésif (le tout transporté dans un sac étanche type "ziploc") les boîtes gravimétriques pour les peser au retour de mission en France.

Bien que la mission ait pu être menée à bien malgré l'absence de balance, ce problème souligne que :

- La balance d'Hombori ne doit pas être trimbalée sur le terrain, ce qui était le cas de la balance défaillante puisqu'elle était justement sur le terrain quand nous avons eu besoin.
- Elle doit être vérifiée avant chaque utilisation. Les pesées effectuées avec cette balance depuis un certain temps sont probablement complètement fautive. Depuis quand ? Pour quelles activités (racines, végétation) ?
- Pour les missions d'août, il est crucial d'apporter une balance. Eric et François en ont été avertis et une balance est en commande, que Valérie apportera sur le terrain lors de sa mission d'août. Patricia sera au CESBIO la semaine du 8 août et pourra s'occuper de l'expédition en cas de problème ou de retard du fournisseur.
- Il faut racheter du ruban adhésif pour Hombori :)



FIG. 1 – Rangement de la régie et installation d'étagères.



FIG. 2 – Route de Gossi, juste après une pluie de 60 mm le 14 juillet. Départ vers Tin Zaket repoussé au 17 juillet.

La balance défaillante est ramenée en France pour voir les possibilités de réparation (Patricia).

### 3 Installation de la fosse humidité du sol de Tin Zaket

Une station d'humidité du sol a été installée à Tin Zaket ( $16^{\circ}34'17.7$  N,  $1^{\circ}47'21.5$  W) le 17 juillet, dans des conditions météorologiques difficiles (tempête de sable en début d'installation). Cette installation a été doublée de mesures ponctuelles gravimétriques pour l'étalonnage des sondes, ainsi que de mesures Théta-probes (sondes Delta T Device) à différents niveaux de profondeur. Le sol est de couleur brune, très homogène sur l'ensemble du profil de la surface à 2.5m. L'étalonnage des sondes CS616 sera conduit de retour au CESBIO. La fosse comprends 7 sondes Campbell CS616 et 4 sondes de température PT108. Le tableau 1 indique les profondeurs auxquelles les humidités et températures sont mesurées en continu par cette station, par les CS616 et PT108 ainsi que les valeurs ponctuelles obtenues lors de l'installation. La station est couplée à un pluviomètre ORE est se situe sur un site de suivi de végétation (site 4).

L'installation de la station de Tin Zaket conduit à avoir maintenant huit stations de suivi de l'humidité du sol sur le site méso échelle du Gourma. Le tableau 2 résume l'installation.



FIG. 3 – Fosse humidité du sol de Tin Zaket, avec 7 CS616 de la surface à 2.5m de profondeur, et 4 sondes températures.

Profondeur (cm)	CS616 (ms)	PT108 (°C)	Calibration	
			gravimétrie	théta-probe (%)
5	19.676	41.4	x	8.1
10	19.561	37.33	x	8.6
30	17.685	36.51	x	3.2
80	17.3	36.46	x	1.2
120	17.656		x	1.7
180	18.053		x	2.6
250	17.764		x	2

TAB. 1 – Profondeur des instruments (CS616 et PT108) installés à Tin Zaket (site 4), ainsi que valeur d’inter-calibration obtenues avec la sonde portable Théta-probe le 17 juillet 2005. Les mesures gravimétriques ont été effectuées.



FIG. 4 – Fosse d'étalonnage, ici à Hekia (site 12) le 10 juillet 2005.

## 4 Etalonnage des huit stations d'humidité du sol

Pour chacune des huit stations d'humidité du sol des profils d'humidité du sol sont mesurés par méthode gravimétrique. Cela consiste à creuser une fosse proche (quelques mètres) de celle de la station et à prélever des échantillons de sol aux profondeurs correspondant à celles de la station (Figure 4). Ces mesures gravimétriques ont été doublées de mesures Théta-probe. Les mesures gravimétriques permettront d'étalonner les sondes des différentes fosses en saison humide. Au total, huit fosses, de 2.2 à 4 mètres de profondeur, ont été creusées pour la calibration entre le 9 et le 20 juillet. Le tableau 3 indique les dates de calibration pour chaque station.

Après pesé et séchage au four, à Toulouse au retour de mission, ces prélèvements permettront d'établir une relation d'étalonnage des sondes CS616 et Théta-probes installées sur les différents sites.

Les mesures théta-probes effectuées sur les différents sites montrent les profils d'humidité obtenus (Figure 5). Pour l'ensemble des sites les récents évènement pluvieux conduisent à avoir des humidité du sol relativement élevées en surface, pertinentes pour l'étalonnage.

## 5 Transects kilométriques

En plus des mesures locales de calibration sur les profils verticaux, des mesures d'humidité du sol de surface ont été effectuées le long de transect kilométriques. Sur chaque transect, 100 mesures sont faites (une tous les 10 mètres), permettant d'estimer la moyenne et l'écart type de l'humidité du sol à cette échelle. Un transect a été mesuré sur les sites 12, 4, Bamba, Bangui Mallam. Sur le site 17 les mesures ont été faites avec un échantillonnage temporel plus élevé permettant de mettre en relation la dynamique temporelle de l'humidité de surface sur les stations et à l'échelle kilométrique. La journée du 16 juillet, 7 transects ont été mesurés à différentes heures pour caractériser le cycle diurne. Le tableau 4 indique les dates de mesures de transect du 9 au 20 juillet.

La gamme de variation d'humidité du sol sur le site 17 varie entre 2.7 et 16.3 % d'humidité volumique, ce qui permet de caractériser la relation d'échelle du local au kilométrique sur une relativement grande diversité de conditions d'humidité du sol.

Site		Lieu		Sondes d'humidité	Température	date
		lat	lon	(profondeurs en cm)		
17	Haut de dune	15°20.72'N	1°28.748W	5 CS616 5, 10, 40, 120, 220	PT108 5, 40	Avril 2004
17	Milieu de dune	15°20.675N	1°28.745 W	6 Théta-probes 5, 30, 60, 120, 150, 250 1 CS616 à 30 cm (04 2004)	5 PT108 5, 10, 40, 80, 120	Avril 2002
17	Bas de dune	15°20.437N	1°28.726W	7CS616 5, 30, 60, 120, 150, 250, 400	4 PT108 5, 30, 60, 120	Avril 2005
	Bamba	17°05.941N	1°24.1083W	6 CS616 5, 40, 80, 120, 180, 250	5 PT108 5, 10, 40, 80, 120	Avril 2004
4	Tin Zaket	16°34'17.7N	1°47'21.5 W	7 CS616 5, 10, 30, 80, 120, 180, 250	4 PT108 5, 10, 30, 80	Juillet 2005
12	Hekia	15°57.906N	1°15.206W	7 CS616 5, 10, 30, 80, 120, 180, 250	4 PT108 5, 10, 30, 80	Juin 2005
	Bangui Mallam	15°23.875N	1°20.729W	7 CS616 5, 10, 30, 80, 120, 180, 250	4 PT108 5, 10, 30, 80	Avril 2005
20	Kelma	15°16.583N	1°33.9667W	4 Théta-probes 5, 20, 80, 100	4 PT108 5, 20, 80, 100	Juin 2005

TAB. 2 – Réseau de mesures d'humidité du sol sur le Gourma. Chaque site est équipé d'un pluviographe. Les sites de Bamba, Kelma et Agoufou sont équipé de stations de flux et météorologiques.

Site	Date de calibration	profondeur de la fosse	nb d'échantillons prélevés
17 - Haut de dune	09 Jul 2005	2.2m	5
17 - Milieu de dune	12 Jul 2005	2.5	6
17 - Bas de dune	11 Jul 2005	4m	7
Bamba	18 Jul 2005	2.5m	7
4 - Tin Zaket	17 Jul 2005	2.5m	7
12 - Hekia	10 Jul 2005	2.5m	7
Bangui Mallam	12 Jul 2005	2.5m	7
20 - Kelma	13 Jul 2005	0.8m	3

TAB. 3 – Date d'étalonnage en saison humide. Pour chaque site une fosse a été creusée à proximité de la station en place. Sur le site 20 (Kelma- acacière), le prélèvement à 1m n'a pas pu se faire le sol étant trop dur.

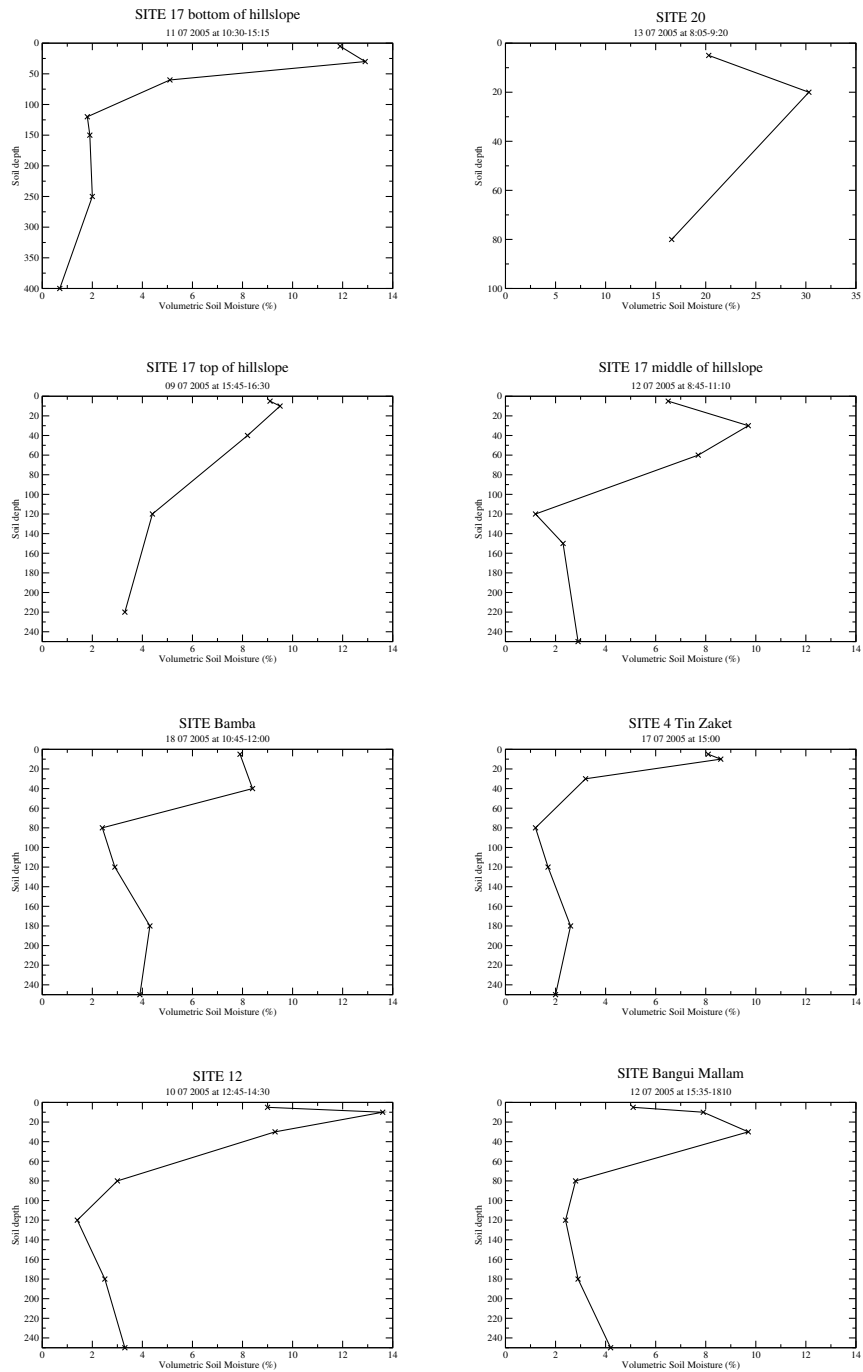


FIG. 5 – Conditions d’humidité du sol sur les différents sites lors des prélèvement de sol effectués pour l’étalonnage des sondes.



Site	Date	Heure	Direction	Transect			
				HV moyenne (%)	HV sdv		
17	09-07	10 :15	W	11.137	1.150		
	10-07	10 :00 *		16.289	2.218		
	11-07	12 :15		8.784	1.583		
				16 :00	7.589	1.197	
	12-07	11 :00		6.870	1.130		
	13-07	10 :30 *		4.703	1.110		
	14-07	11 :00		16.376	2.202		
	15-07	9 :30		10.157	1.666		
	16-07	8 :15		7.884	1.661		
				10 :00 *	6.682	1.107	
				11 :45	6.427	1.098	
				13 :15	6.152	1.521	
				15 :00	5.593	1.094	
				16 :30	5.143	1.156	
	17-07	17 :45		4.764	1.061		
				19-07	14 :15	3.218	0.999
	20-07	10 :45		2.695	1.187		
	Bamba	18-07		12 :45	N	6.707	1.315
	Bangui Mallam	12-07		17 :45	S	4.353	1.220
	12	10-07		13 :45	S-E	12.339	2.470

TAB. 4 – Mesures d’humidité de surface le long de transects kilométriques. Sur le site 17, mesures en phase avec le passage ENVISAT SAR les 10, 13 et 16 juillet à 10h00 (indiqué par une \*).



FIG. 6 – Prélèvement de sol pour établir les courbes caractéristiques avec les anneaux fournis par la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Sur cette photo, prélèvement en surface sur le site 17.

## 6 Courbes caractéristiques

Des prélèvements ont été pratiqués pour établir les paramètres caractéristiques du sol (conductivité hydraulique à saturation, succion d'entrée d'air etc). Le matériel nous a été fourni par la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, en Belgique (contact Prof S. Dautrebande). Le protocole de mesure est également indiqué par la faculté de Gembloux, où les échantillons de sol seront envoyés pour analyse (Figure 6).

La méthode de prélèvement s'est avérée extrêmement délicate. La spécificité de cette mesure est de garder le sol tel quel sans en affecter la structure, pour en mesurer les propriétés hydrauliques. Deux problèmes majeurs ont été rencontrés : (1) un glissement latéral des anneaux superposés, dû au fait qu'aucune accroche ne permet de les solidariser, (2) les couvercles fournis avec les boîtes ne ferment absolument pas, ce qui ne permet en aucun cas de les transporter après prélèvements. Les mesures ont dues être répétées à plusieurs reprise pour parvenir à des prélèvements propres et exploitables. Pour résoudre le problème des couvercles, le recours au scotch permet de fermer efficacement les boîtes. Ici ce n'est pas l'étanchéité de la boîte qui est importante, mais la forme de l'échantillon qui doit rester parfaitement cylindrique. Clairement le matériel fourni n'est pas adapté, surtout aux sols sableux. Ce point doit être éclairci avec la Faculté de Gembloux. Et les résultats devront être considérés avec précautions pour certains des échantillons (repérés).

Seize échantillons ont été prélevés sur les différents sites :

- site 17 en haut de dune à différentes profondeurs à 5, 10, 40, 120 cm de profondeur,
- site 17 en bas de dune à 5, 30, 60, 400 cm,
- site 17 en surface sur sol encroûté (2 prélèvements),
- site 20 (acacière) à 5 et 20 cm,
- site de Bamba à 5, 10, 40, 120 cm.

x