

# Mesures d'humidité du sol au Gourma

Patricia de Rosnay et Frédéric Baup  
7 octobre 2004

Campagne du 18 août au 1<sup>er</sup> septembre 2004

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Objectifs</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Outils utilisés</b>	<b>1</b>
2.1	Les mesures gravimétriques . . . . .	1
2.2	Les sondes Campbell CS616 . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Mesures inter-sites</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Humidité des sols sur le site 17</b>	<b>8</b>
4.1	Conditions météorologiques . . . . .	8
4.2	Mesures gravimétriques . . . . .	8
4.3	Inter-étalonnage local des Théta probes et des CS616 . . . . .	9
4.4	Mesures d'humidité le long du transect de 1km . . . . .	13
4.5	Relations entre les mesures du transect et les mesures locales des fosses . . . . .	13

# 1 Objectifs

L'humidité des sols est une variable clé des processus d'interactions sol-plante-atmosphère, tant en ce qui concerne les échanges d'eau et d'énergie que pour le fonctionnement et la phénologie des plantes, les processus d'émission et de dépôt chimique et la respiration des sols. Pour comprendre et modéliser ces processus, il est nécessaire de caractériser l'humidité des sols à diverses échelles spatiales.

Actuellement la région du Gourma malien est équipée en trois endroits pour mesurer en continu les profils verticaux d'humidité du sol sur 2.5 m de profondeur. Une fosse de mesure est installée à Bamba ( $17^{\circ} 05'N$ ,  $1^{\circ} 26'W$ ) à l'extrême nord de la région, depuis mars 2004. Les deux autres fosses sont situées à Agoufou ( $15^{\circ} 20.399'N$ ,  $1^{\circ} 28.768'W$ ), sur le site de mesures intensives du Gourma (site 17, voir Figure3).

L'un des objectifs du CESBIO, dans le cadre d'AMMA, est d'installer en 2005, un réseau de mesures d'humidité du sol sur l'ensemble du site méso-échelle du Gourma. Ce site s'étend sur 3 degrés de latitude et 1 degré de longitude. La région est vaste, il est donc crucial d'échantillonner spatialement le réseaux de mesures afin qu'il soit représentatif de l'humidité du sol non seulement localement mais aussi à l'échelle des sites étudiés ( $1km^2$ ) ainsi qu'à méso-échelle. Ce réseau doit documenter la dynamique et la variabilité temporelle de l'humidité du sol, ainsi que ses variabilités spatiales qui incluent un fort gradient nord-sud et une variabilité due au système considéré (dunaire, gravillonnaire, accacière).

A cet égard les objectifs de la mission d'août 2004 sont multiples.

- Sur le site intensif d'Agoufou il s'agit :
  - d'estimer l'humidité du sol à l'échelle du site et de comparer avec les données satellitales de même échelle spatiale (ENVISAT) et d'échelle plus large (AMSR).
  - d'estimer et quantifier la représentativité des stations déjà installées en bas et haut de dune,
  - de caractériser la densité et la texture du sol sur le site, valider l'étalonnage des sondes Théta probes qui date de 2002,
  - d'étalonner les sondes CS616.
- Sur le site méso-échelle, il est nécessaire de se rendre de compte de la diversité des sites et de la variabilité inter-sites ainsi que de repérer les sites pertinents pour l'installation de mesures de profil d'humidité en 2005.

## 2 Outils utilisés

Nous utilisons trois méthodes de mesure d'humidité du sol : les mesures gravimétriques, les sondes Théta probes et les sondes CS616.

### 2.1 Les mesures gravimétriques

Ces mesures consistent à prélever, dans un volume connu (boîtes de  $100cm^3$ ) des échantillons de sol pour en calculer la densité apparente à l'état sec et la teneur en eau volumique. Le séchage au four permet de calculer la masse d'eau contenue dans le sol  $m_{eau}$ , la masse de sol sec  $m_{sol\_sec}$  et la masse volumique du sol  $\rho_s$ . On en déduit l'humidité volumique par la relation suivante :

$$\theta = \frac{m_{eau}}{m_{sol\_sec}} \times \frac{\rho_s}{\rho_e} \quad (1)$$

$\rho_e$  étant la masse volumique de l'eau.

Une analyse supplémentaire sera conduite sur les échantillons prélevés en 2004, en parallèle dans 2 laboratoires, l'un à l'IRD Bamako, l'autre en France : voir Arras et Ladybio) pour déterminer la texture du sol. Il est aussi prévu d'effectuer des mesures de courbes caractéristiques (relation entre le potentiel matriciel et la teneur en eau) et de conductivité hydraulique à saturation, lors d'une prochaine campagne de mesures.



FIG. 1 – Mesures d’humidité du sol dans une fosse par gravimétrie et Théta probe.



FIG. 2 – Sonde Delta T Device ML2x Théta probe.

Les mesures gravimétriques sont effectuées dans une fosse à différents niveaux de profondeur en surface puis tous les 10cm (Figure 1). Les valeurs d’humidité volumique obtenues ensuite, sont confrontées aux mesures des sondes Théta probes et CS616.

subsection Les sondes Delta T Device Théta probes ML2x

Elles mesurent un signal en volt, proportionnel à la constante diélectrique du sol. Celle-ci est une indication précise de l’humidité du sol. Les sondes Théta probes (Figure2) donnent une valeur moyenne sur la longueur des électrodes, 5 cm (Gaskin and Miller 1996).

La station bas de dune d’Agoufou est équipée de Théta probes placées à 5, 30 , 60, 120, 150, 250 cm de profondeur.

Nous disposons également d’une sonde portable qui permet de mesurer l’humidité de surface (0-5cm) de manière “itinérante”. Cette sonde portable est utilisée lors de la campagne pour effectuer des transects de 1000m (avec une mesure tous les 10m) d’estimation d’humidité du sol en surface sur les différents sites. Ce type de mesure donne une indication sur la variabilité spatiale de l’humidité du sol en surface à l’échelle du site de  $1km^2$ .

Le constructeur fournit une relation d’étalonnage générique et stable pour les sols de type minéraux, bien adaptée aux sols sableux (Gaskin and Miller 1996; Mohanty et al. 2000) :

$$\theta = 0.05238 \times mv - 5.952 \quad (2)$$

avec  $\theta$  l’humidité volumique du sol exprimée en % et mv la mesure en millivolt de la sonde.

La relation utilisée sur le profil de la station bas de dune d’Agoufou a été établie par Georges Marty en 2002 à partir de mesures gravimétriques locales. Elle est très proche de la relation constructeur, mais plus adaptée au cas étudié localement, du moins à l’endroit précis de la mesure du profil d’humidité dans la fosse du bas de dune d’Agoufou.

$$\theta = 0.046 \times mv - 4.8 \quad (3)$$

## 2.2 Les sondes Campbell CS616

Ces sondes mesurent le temps de parcours d'un signal électrique le long de deux électrodes (20cm). La sortie est en micro secondes. Le constructeur indique qu'étalonner les sondes avec une relation du 1<sup>er</sup> degré est fiable. La relation donnée est très sensible au degré de compaction du sol et à sa conductivité électrique à saturation. Par exemple, les expériences conduites en laboratoire par Campbell scientifique donnent deux relations très différentes pour un sol de même texture et même densité :

$$\theta = 3.29 \times ms - 62.0$$

ou

$$\theta = 2.54 \times ms - 44.7$$

selon la conductivité électrique à saturation (Campbell Scientific 2003). **La relation d'étalonnage semble donc plus sensible au type de sol que celle des Théta probes. Elle doit en conséquence être spécifiquement définie sur le type de sol étudié et à différentes profondeurs.**

La station haut de dune d'Agoufou est instrumentée en CS616 placées dans une fosse à 5, 10, 40, 120, 220 cm. A Bamba les sondes sont à 5, 40, 80, 120, 180, 250 cm. De manière à inter-étalonner les CS616 et les Théta probes, une CS616 est placée en aval de dune du site 17 à 30cm de profondeur en doublons d'une Théta probe. Pour l'instant aucune relation d'étalonnage n'a été calculée pour les CS616 sur ce sites. Des mesures gravimétriques, à proximité de la fosse où sont implantées les sondes, doivent être effectuées pour déterminer cet étalonnage local.

Nous verrons aussi dans la section consacrée à l'analyse des données du site 17 qu'il peut être intéressant de faire en parallèle un étalonnage d'échelle plus large en se calant sur les mesures de transect, de manière à rendre compte de l'humidité de surface à l'échelle kilométrique du site.

## 3 Mesures inter-sites

L'ensemble des sites visités et sur lesquels des mesures de transect d'humidité ont été effectuées est listé Tableau 1 avec les valeurs moyennes (le long du transect) d'humidité de surface mesurée et leur écart type. Ces sites sont repérés sur la carte en Figure 3.

La figure 4 montre les valeurs d'humidité de surface obtenues le long de transects sur les sites 10, 12, 14 et 17 le 22 août. Elle illustre la variabilité au sein de chaque site et la variabilité entre les sites, avec des valeurs moyennes et des écart types différents. Le site 10 apparait comme étant le plus humide à cette date là.

La Figure 5 montre les profils d'humidité mesurés sur les sites 10, 12, 14 le même jour. Ces profils sont locaux et ne sont donc pas nécessairement représentatifs du site sur lequel ils sont prélevé. Cependant, leur valeur en surface se trouve pour les trois cas, dans la gamme de variation de l'humidité de surface du site (valeur moyenne +/- écart type). En complément des valeurs de transect, ils montrent de plus que la forte variabilité spatiale de l'humidité du sol concerne non seulement l'humidité de surface (Figure 4), mais aussi sa répartition verticale dans le sol (Figure 5).

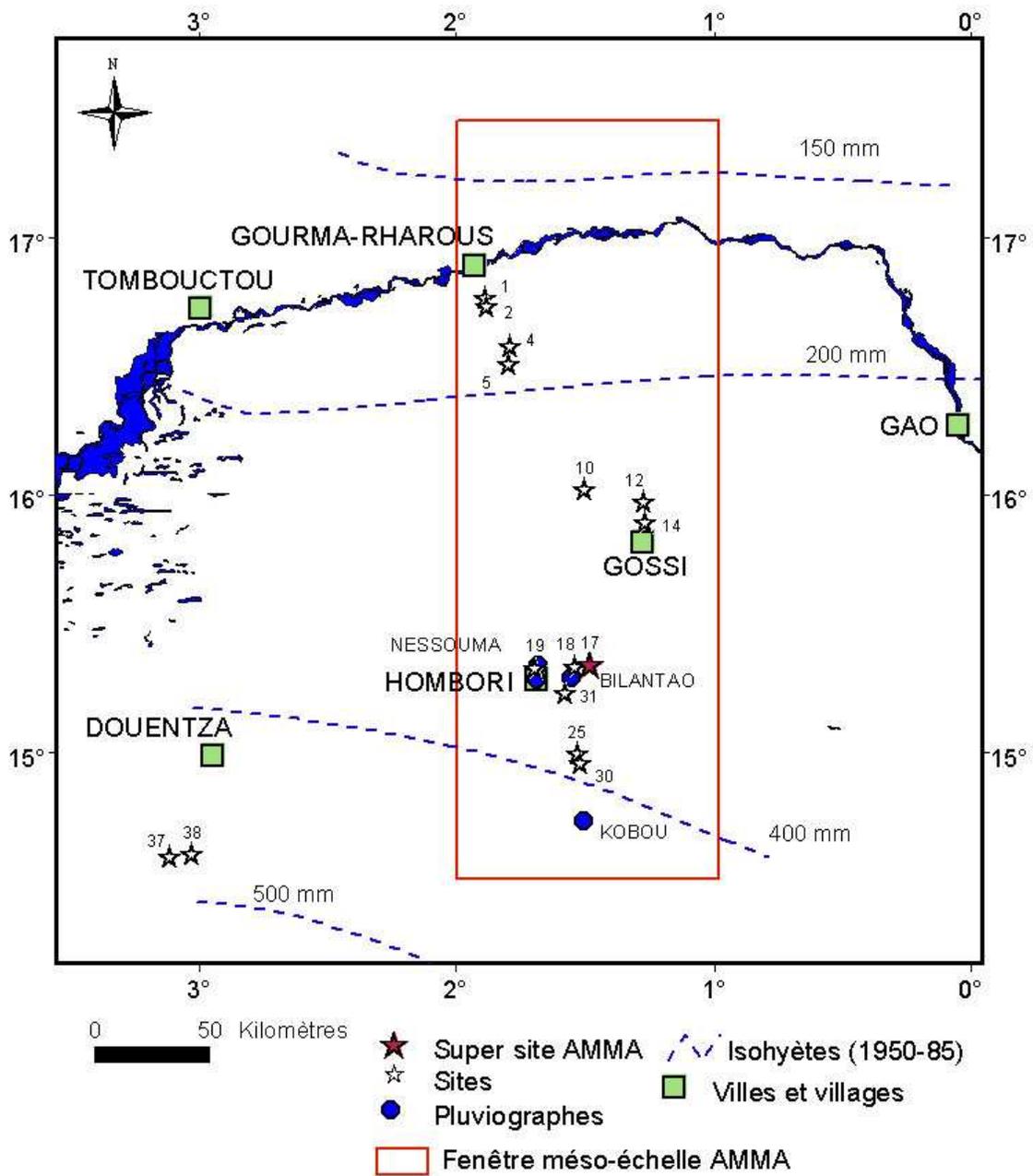


FIG. 3 – Carte de la région du Gourma malien avec position des sites d'étude.

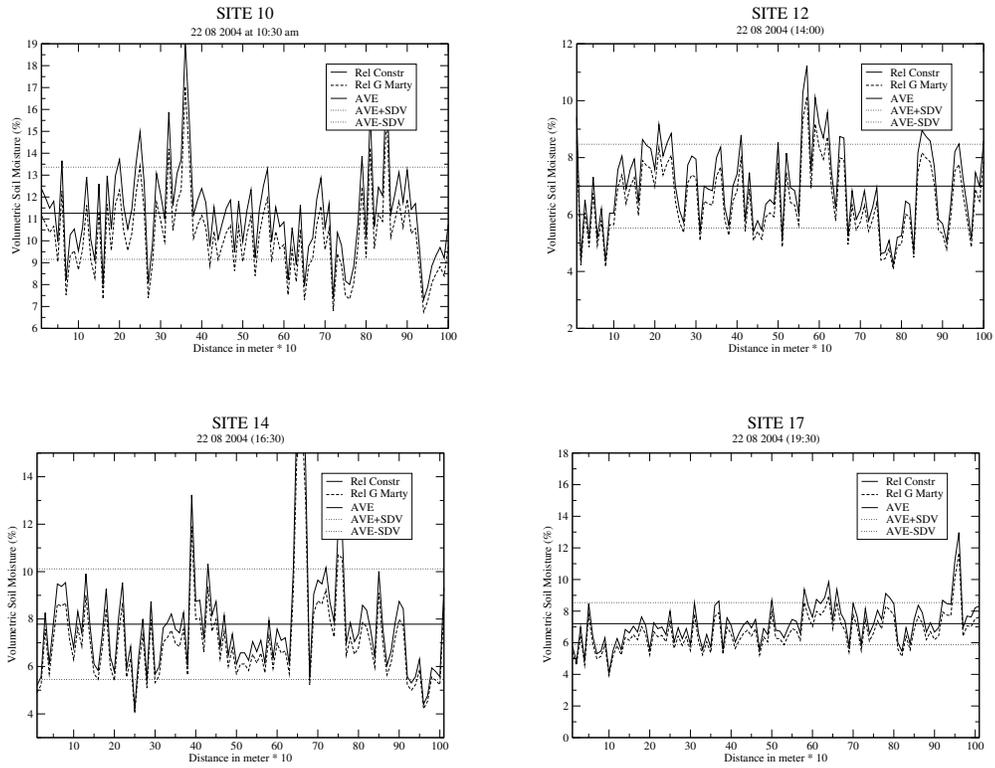


FIG. 4 – Mesures de transects d’humidité des sols sur 4 sites différents le 22 août, après qu’un évènement pluvieux ait été enregistré à Agoufou (site 17). Pour chacun l’humidité du sol est calculée avec les deux relations indiquées en Equations 2 et 3 La variabilité inter-site est très marquée. Les lignes horizontales pleine et pointillées indiquent respectivement la valeur moyenne et l’écart type autour de cette moyenne (selon la relation constructeur) pour chaque site considéré.

Site	Date	Heure	Transect		Profil	
			HV moyenne (%)	HV sdv		
17	19-08	10 :00	4.32	1.033	non	
	20-08	23 :30	1.183	0.962	non	
	21-08	18 :00	1.264	0.767	Surf-30cm	
	22-08	19 :30	7.207	1.331	non	
	23-08	18 :00	4.927	1.026	Surf-50cm	
	24-08	9 :30	9.247	1.258	Surf-1m (bas de dune) Surf-1m (haut de dune)	
	27-08	12 :00	2.380	1.111	non	
	28-08	18 :00	5.50 *	1.125	non	
	29-08	17 :00	3.800	1.432	non	
	30-08	13 :00	3.587 *	1.245	non	
	31-08	10 :30	2.473 *	1.299	non	
	01-09	10 :00	1.815 *	1.686	non	
	10	22-08	10 :30	11.258	2.106	Surf-60cm
	12	22-08	14 :00	6.998	1.473	Surf-40cm
14	22-08	16 :30	7.783	2.331	Surf-60cm	
19	19-08	13 :00	3.217	1.106	non	
31	19-08	12 :00	6.204	1.121	non	
25	21-08	14 :00	1.438 *	1.814	20cm et 30cm	
5	25-08	14 :00	2.48	1.354	non	
1	26-08	9 :30	0.82 *	0.35	non	
2	26-08	12 :30	3.291	1.84	non	

TAB. 1 – Liste des sites sur lesquels des mesures d’humidité des sols ont été effectuées le long d’un transect de 1000m. La valeur moyenne de l’humidité volumique et écart type (sdv) sur le transect sont indiquées. La présence d’une \* à côté de la valeur moyenne d’humidité indique que le transect est incomplet : sur les sites 1 et 25 parce-qu’ils étaient trop sec pour planter correctement la sonde, sur le site 17 en fin de mission à cause de l’endommagement de la sonde. La représentativité de la mesure est donc à prendre avec précaution dans ces cas.

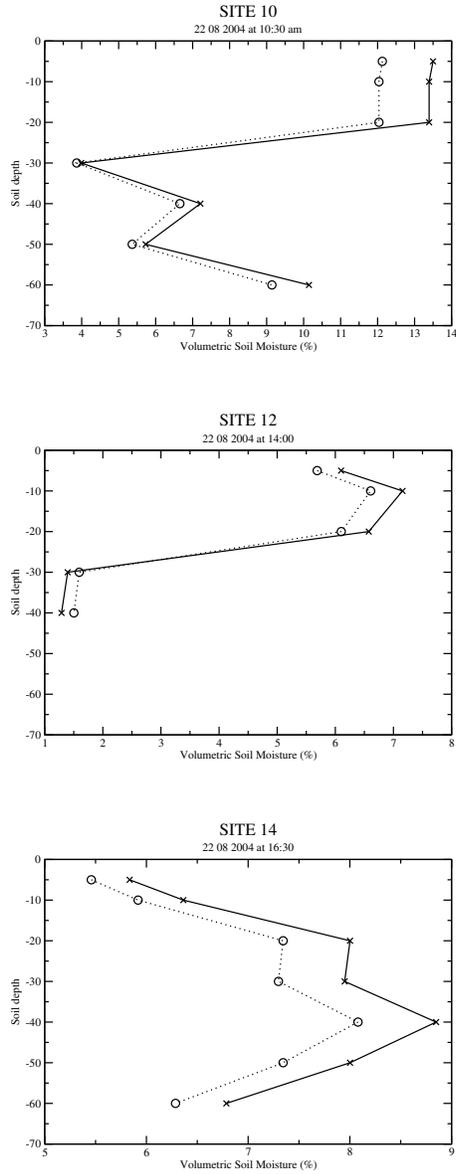


FIG. 5 – Profils d’humidité du sol sur les sites 10, 12 et 14 le 22 août 2004, calculés à partir des mesures Théta probes avec la relation d’étalonnage constructeur en noir et avec la relation de G Marty en pointillés. La variabilité spatiale de l’humidité du sol concerne non seulement sa distribution latérale (Figure précédente) mais également sa distribution verticale dans le sol.

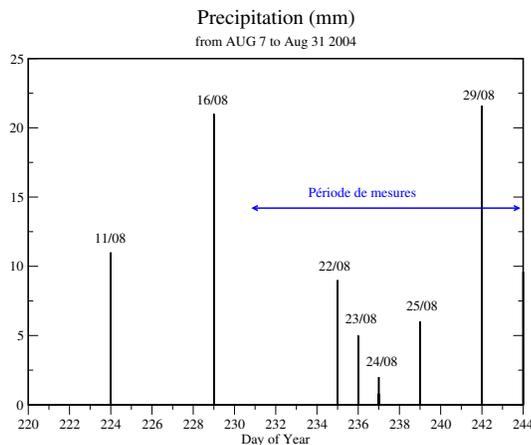


FIG. 6 – Précipitations (en mm) du 7 au 31 août 2004.

## 4 Humidité des sols sur le site 17

Sur ce site, le paysage est défini par l’alternance de dunes et d’inter-dunes. Afin d’obtenir une mesure d’humidité du sol représentative du système dune/inter-dune, un profil d’humidité du sol est mesuré en aval de dune (depuis mars 2002) et un second est situé en amont de dune (depuis mars 2004). Les capteurs utilisés sont des sondes Delta T Device Théta probes en aval de dune, et des Campbell CS616 en amont du site 17.

### 4.1 Conditions météorologiques

La Figure 6 montre l’occurrence d’évènements pluvieux au cours du mois d’août 2004. Ces évènements conditionnent la dynamique de l’humidité des sols. La période de mesure est précédée d’un évènement pluvieux important le 16 août, suivi d’un dessèchement jusqu’au 22 août puis quelques précipitations plus modérées les 22 23 24 25 août. Ces conditions contrastées permettent d’observer des conditions diverses d’humidité du sol sur une courte période, avec donc une dynamique rapide. Nous verrons dans la section suivante que la pluie importante du 29 août enregistrée à Agoufou ne se répercute pas du tout sur les mesures d’humidité du sol, que ce soit celles de la station bas de dune, haut de dune et sur les transects mesurés avec la sonde portable. Par contre les mesures d’humidité du sol indiquent une augmentation légère le 28 août. Ce qui laisse penser qu’il y a un problème de date et de quantité sur la donnée de pluies du 29 août.

### 4.2 Mesures gravimétriques

Deux profils de mesures gravimétriques sont creusés le 24 août. Le premier est situé en contre bas, à proximité de la place I. Sidibé, le second au sommet de la dune la plus proche. Le sol est de couleur très différente dans ces deux fosses : clair en haut, foncé en bas. Chaque fosse fait 1 mètre de profondeur. En surface puis tous les 10cm on fait un prélèvement et au moins une mesure Théta probe. Les mesures d’humidité massique sont converties en humidité volumique selon la relation donnée en Equation 1, et résumées dans le Tableau 2.

La Figure 7 montre les profils verticaux de densité de sol mesurés sur les deux fosses utilisées pour les mesures gravimétriques. La densité est assez uniforme sur la verticale et de valeur élevée, autour de  $1.6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , conformément aux valeurs usuelles sur sols sableux (Maidment 1992). La densité plus faible en surface en aval de dune traduit une composition différente, probablement plus argileuse. L’analyse de texture qui sera conduite fin 2004 permettra de clarifier ce point. La Figure 8 montre les profils verticaux d’humidité du sol jusqu’à un mètre de profondeur mesurés par gravimétrie et par sonde Théta probe sur

Prof.	Bas de dune				Haut de dune			
	Théta probe		Prélèvement		Théta probe		Prélèvement	
	mv	HV(%)	$\rho_s$ ( $10^3 kg/m^3$ )	HV (%)	mv	HV(%)	$\rho_s$ ( $10^3 kg/m^3$ )	HV (%)
-5	428.0	16.67	1.51	15.48	237.0	6.575	1.69	6.317
-10	181.5	3.58	1.64	4.85	188.0	3.985	1.68	3.07
-20	192.5	4.222	1.57	6.22	155.0	2.240	1.61	1.057
-30	234.0	6.416	1.59	6.737	153.0	2.135	1.58	0.49
-40	266.5	8.134	1.59	7.56	154.0	2.188	1.58	0.403
-50	283.0	9.007	1.56	9.2	121.0	0.443	1.62	0.2
-60	308.5	10.35	1.63	7.75	137.0	1.289	1.65	1.393
-70	303.5	10.09	1.6	7.66	140.0	1.448	1.66	2.86
-80	283.5	9.032	1.58	7.707	151.0	2.029	1.67	3.45
-90	279.5	8.821	1.48	7.12	196.0	4.408	1.66	3.277
-100	270.0	8.319	1.56	7.7	205.0	4.883	1.63	2.343

TAB. 2 – Mesures manuelles en bas et haut de dune, le 24 août 2004. Pour chaque fosse on indique les mesures Théta probe (sortie en mv et valeur d’humidité volumique, HV, obtenue avec la relation constructeur) ainsi que les mesures faites par prélèvement de sol (densité  $\rho_s$  et humidité volumique).

le site 17.

A partir des mesures gravimétriques nous avons également évalué et comparé les deux relations d’étalonnage donnée en Equation 2 et 3. La Figure 9 montre la régression entre l’humidité Théta probe, selon ces deux relations, et l’humidité mesurée à partir des prélèvements. Cette figure souligne que ces deux relations permettent d’obtenir la même qualité de corrélation entre l’humidité mesurée et l’humidité déduite de la mesure Théta probe. La relation établie par G. Marty en 2002 est cependant un peu moins proche des mesures puisqu’elle est caractérisée par une ordonnée à l’origine plus grande et un écart à la pente 1 plus important.

L’équation 3 n’est donc retenue comme relation d’étalonnage des sondes Théta probes qu’à l’échelle de la station du bas de dune d’Agoufou. Comme indiqué par Delta T la relation constructeur est bien adaptée aux sols sableux. Pour les autres mesures Théta probe faites sur le site 17, ainsi que celles des autres sites, nous utiliserons par défaut la relation constructeur donnée en Equation 2, pour convertir les sorties de la Théta probe en humidité volumique.

### 4.3 Inter-étalonnage local des Théta probes et des CS616

Le dispositif du profil bas de dune a été complété en mars 2004 pour comparer les mesures Théta probes et CS616. Une sonde CS616 a été ajoutée à 30 cm de profondeur dans une fosse qui jouxte la fosse bas de dune. La figure 10 en haut montre l’évolution temporelle des signaux de la Théta probe en humidité volumique et de la CS616 en ms. On distingue 3 périodes : avant la première pluie, entre les deux pluies et après la seconde pluie. Malgré une bonne adéquation visuelle, la corrélation est perturbée dans les deux premières périodes notamment par le décalage temporel de la réaction aux événements pluvieux. Le sol n’est pas encore stabilisé (après avoir été creusé pour ajouter la sonde CS616) et la corrélation CS616/Théta probe est tri-modale avec une relation pour chaque période différente. Effectuer une relation CS616/Théta probe n’a de sens que pour un sol stabilisé. La Figure 10 en bas montre la relation obtenue pour la troisième période, après que suffisamment de pluie soit tombée pour stabiliser le sol. La régression obtenue est :

$$\theta = 2.65 \times ms - 43.15 \quad (4)$$

avec une corrélation de 98.3 % pour 1333 valeurs. Cette bonne corrélation indique que les deux systèmes de mesure sont en très bonne adéquation. La stabilité de la relation devra être vérifiée avec les données de fin 2004 et 2005.

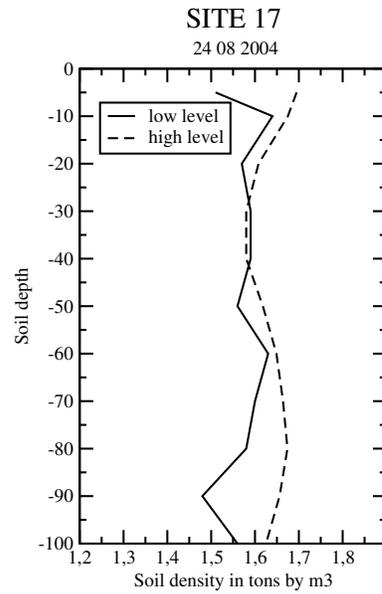


FIG. 7 – Profils de densité du sol en  $kg/dm^3$  en deux endroits du sites 17, l'un situé en contre bas l'autre en haut au sommet d'une dune.

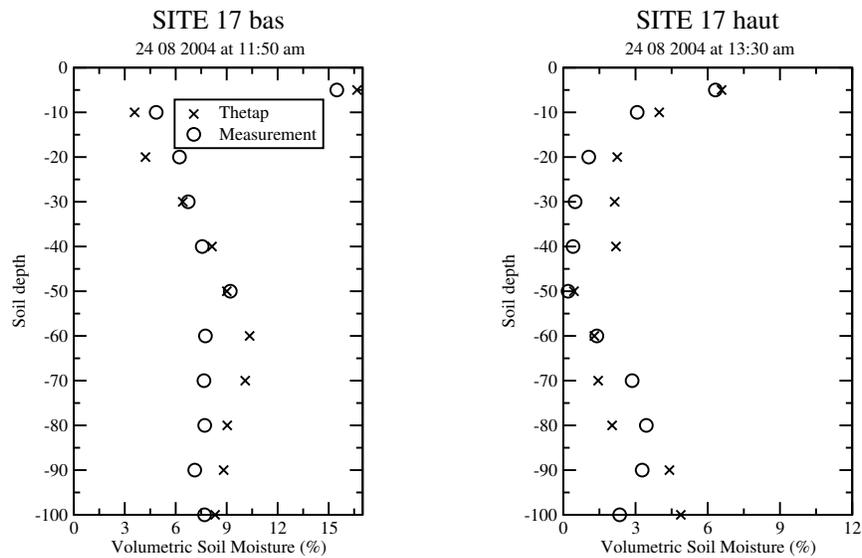


FIG. 8 – Profils d'humidité volumique en bas de dune et en haut de dune sur le site 17, mesurés par Théta probes (avec la relation d'étalonnage du constructeur) et prélèvements de sol. Le sol est plus humide en bas de dune avec un profil plus contrasté qu'en haut de dune.

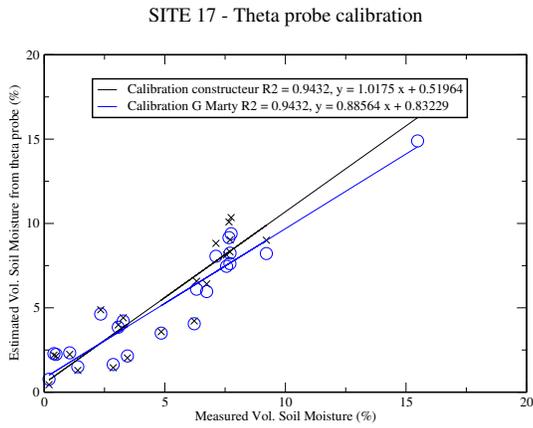


FIG. 9 – Relation entre l’humidité estimée à partir des mesures Théta probes, selon deux relations d’étalonnages (Equations 2 et3) et l’humidité mesurée.

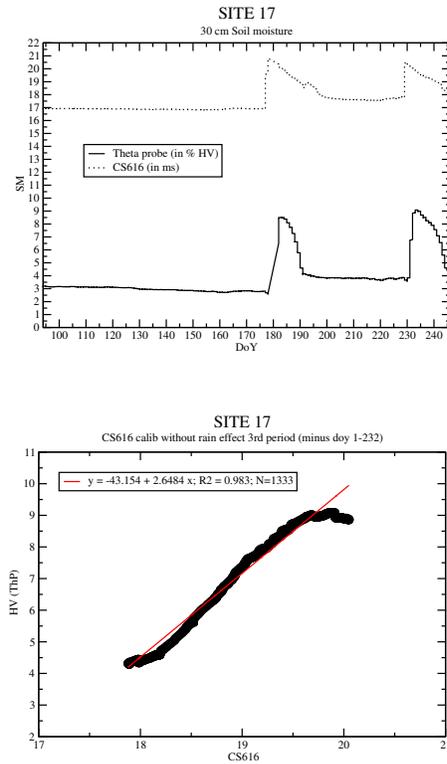


FIG. 10 – Relation locale entre les mesures Théta probes et CS616. En haut on voit l’évolution temporelle des signaux respectivement en humidité volumique et micro secondes. En bas on trace la régression entre les deux a partir de la deuxième période de pluies pour que le sol soit stabilisé.

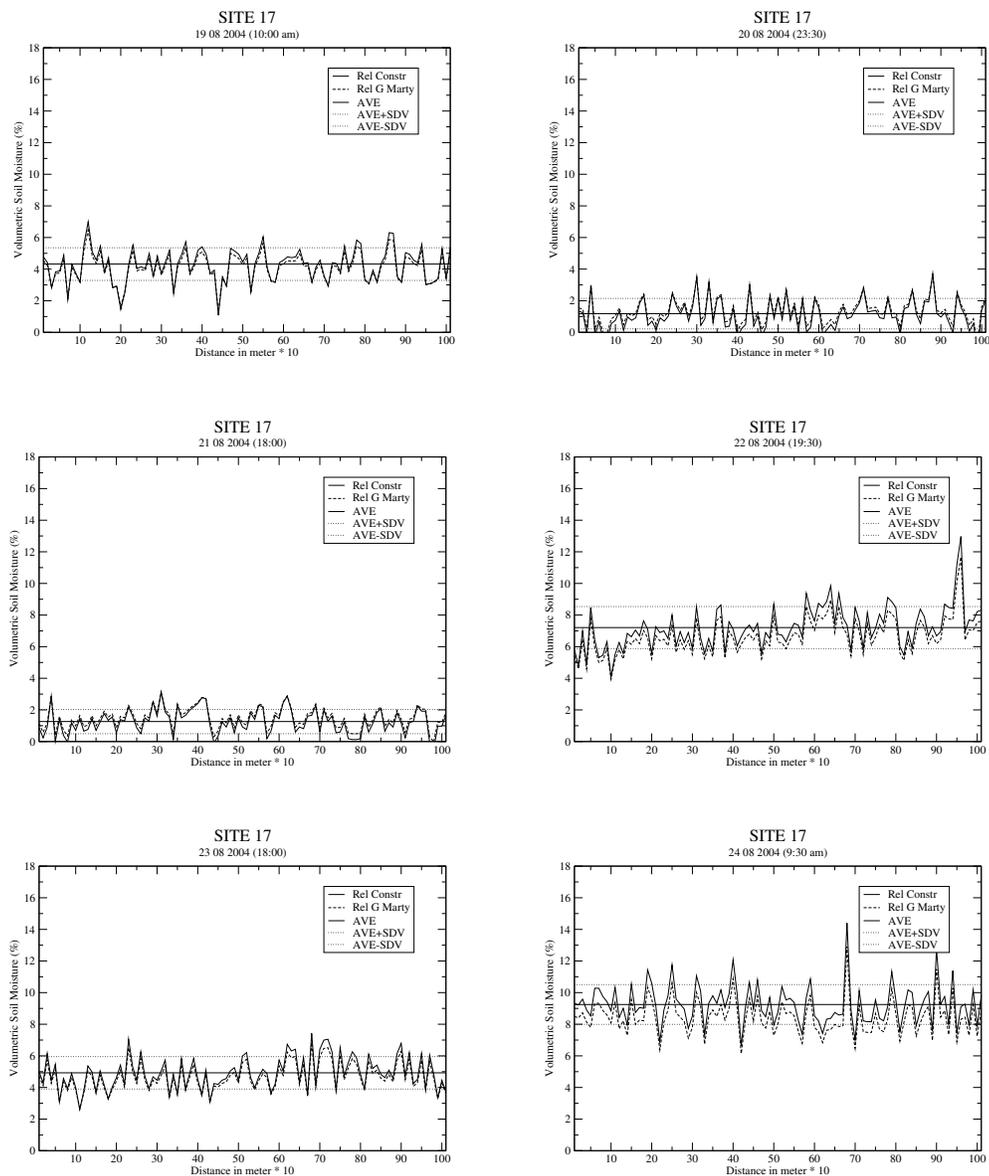


FIG. 11 – Transects d'un km d'humidité du sol sur le site 17 à différentes dates. Les lignes horizontales (1 pleine et 2 pointillées) indiquent respectivement la valeur moyenne et les écarts types, pour le transect obtenu avec la calibration constructeur. On note le dessèchement des 19, 20 et 21 août, suivi d'une humidification le 22 août après la pluie. Le 23 août la mesure est effectuée avant la pluie ce qui explique l'augmentation du 24 août.

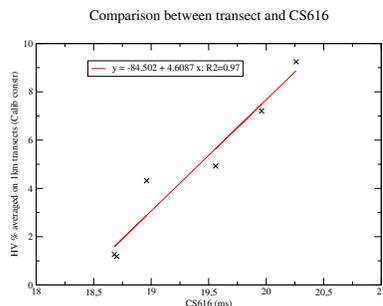


FIG. 12 – Relation entre la valeur CS616 de surface sur la fosse du haut de dune et la valeur moyenne d’humidité du transect du site 17. La station haut de dune représente avec une corrélation de 97% la dynamique de l’humidité du sol du le  $km^2$  du site 17. La régression est calculée sur les données du 19 au 24 août inclus pour bénéficier des mesures de tansects complètes sur les 1000m.

#### 4.4 Mesures d’humidité le long du transect de 1km

La Figure 11 montre les mesures d’humidité de surface conduites sur le transect E-W du site 17 chaque jour du 19 au 24 août inclus. Cette figure montre la forte variabilité temporelle de l’humidité de surface sur le site 17. Les mesures qui coïncident avec les passages d’ENVISAT (10h et 22h) et avec les passages d’AMSR (13h et 1h) seront comparées aux produits satellitaires d’échelle spatiale différentes.

#### 4.5 Relations entre les mesures du transect et les mesures locales des fosses

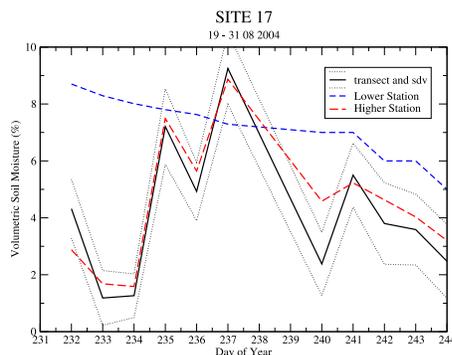


FIG. 13 – Evolution temporelle de l’humidité de surface mesurée : (i) en moyenne sur le transect (trait plein et écart type en pointillé), (ii) par la station en bas de dune (bleu), (iii) par la station en haut de dune (rouge) avec la calibration définie Figure 12. Sur la période considérée (19-31 août), la corrélation entre la fosse bas de dune et le transect est de 23% alors que la corrélation entre la fosse haut de dune et le transect est de 85%. Cette relation sera à confirmer avec plus de mesures de transects en 2005.

On cherche à quantifier la représentativité des mesures des deux fosses situées en haut et bas de dune pour l’humidité du sol de l’ensemble du site 17. La Figure 12 montre la relation entre la mesure CS616 à 5cm de profondeur de la station dite “haut de dune” et les valeurs moyennes d’humidité de surface obtenue sur le transect à la même date et heure, du 19 au 24 août. Les mesures de transect du 28, 30, 31 août et 1er septembre sont à prendre avec précaution puisqu’elles comportent une trentaine de valeurs au lieu de cent points de mesure pour les autres transects. Leur représentativité n’est donc pas garantie. C’est pourquoi la corrélation est calculée sur la période 19-24 août. **La corrélation élevée (97%) qui est obtenue montre que la dynamique moyenne de l’humidité de surface du site 17 sur  $1km^2$  est bien représentée par les mesures de la fosse du haut de dune, pendant la période étudiée. Le faible nombre de point ne permet pas de conclure sur la significativité**

de cette relation. Par contre la relativement large gamme d'humidité du sol (due conditions météorologiques) considérée permet de supposer que cette relation est fiable. D'autres mesures, lors de prochaine campagnes, de transect d'humidité permettront de conforter ou non cette hypothèse. La régression qui est déduite ici permet d'estimer à partir de la station haut de dune, l'humidité du sol surfacique à l'échelle du site 17 :

$$\theta = 4.6087 \times ms - 84.502 \quad (5)$$

**On retiendra donc qu'il peut être pertinent d'avoir, en plus de l'étalonnage classique des sondes à l'échelle locale (relation à déterminer sur la fosse haut de dune par gravimétrie lors d'une prochaine campagne), une seconde relation qui relate l'humidité du sol à l'échelle kilométrique du site.**

La Figure 13 montre l'évolution temporelle de l'humidité moyenne mesurée sur le transect du site 17 du 19 au 31 août. On retrouve la succession d'évènement pluvieux indiquée Figure6, excépté la pluie du 29 août (DoY 242) qui semble plutôt avoir eu lieu le 28, d'après l'évolution de l'humidité du sol, et moins importante que ce qui est indiqué (vérifier cette pluie). Comme expliqué ci-dessus, la dynamique de l'humidité du sol de la station haut de dune (ici calculée avec la relation obtenue en Figure 12) est caractéristique de la dynamique de l'humidité du sol du site 17 sur  $1km^2$ . Sur cette période étendue, la corrélation est de 85 %, à prendre avec précaution puisque les mesures de transect faites à partir du 27 sont incomplètes suite à un problème technique de contact des électrodes dans la Théta probe. Cela peut en partie expliquer la dégradation de la corrélation depuis le 24 août.

**Cette figure montre aussi que l'humidité du sol mesurée par la station du bas de dune (en bleu sur le graph) n'est pas caractéristique de celle du site 17. La corrélation entre les évolutions temporelles de l'humidité moyenne obtenue sur le transect et celle de la fosse bas de dune est très faible (0.23). Il en découle que ces valeurs informent sur l'humidité du sol des fonds inter-dunaires mais ne sont pas utiles pour estimer l'humidité du sol et sa dynamique à l'échelle du site ( $km^2$ ) et plus.**

## Références

- Gaskin, G., and J. Miller, 1996 : Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique. *Journal of Agricultural Engineering Resources*, pp. 153–160.
- Maidment, D. R., 1992 : *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, INC.
- Mohanty, B., T. Skaggs, and J. Famiglietti, 2000 : Analysis and mapping of field-scale soil moisture variability using high-resolution, ground-based data during the southern great plains 1997 (sgp97) hydrology experiment. *Water Resource Research*, pp. 1023–1031.
- Campbell Scientific, 2003 : CS616 Water Content Reflectometer. User Guide - revision 01/04/03. Technical report, Campbell Scientific, Inc.