

Enregistrement scientifique n° : 868

Symposium n° : 3

Présentation : poster

Effet de la différenciation latérale du profil textural sur le fonctionnement hydrique en milieu sahélo- soudanien

Moisture functioning effect of the lateral differentiation of textural profile under sahelo- sudanian conditions

SICOT Albert Marcel (1), Laouali Dungal (2), P. Marini (3)

(1) ORSTOM LCSC 34032 Montpellier, France

(2) Faculté des sciences Université de Niamey, Niger

(3) DPVM CEM de Cadarache BP 13108 Saint Paul lez Durance, France.

L'humidité d'un sol ferrugineux tropical sur sable dunaire, cultivé en mil depuis cinq ans, a été suivie en 1992, afin d'analyser en zone sahélienne, les échanges d'énergie et de masse à l'interface sol-végétation-atmosphère. Le cadre et le dispositif expérimentaux, les méthodes d'analyse ainsi que la dispersion de l'eau du sol ont été décrites par [Sicot *et al.*](#) (1996). ¹La texture du sol hétérogène est structurée latéralement en sites très appauvris de la surface et la base du profil délimitant des zones de texture plus fine à noyau riche en éléments fins. Corrélativement à l'hétérogénéité texturale, la distribution de l'eau du sol, hétérogène et instable, laisse coexister des sites secs et humides, quel que soit l'état d'humectation du profil. En découlent une variabilité du comportement du sol quant aux relations liant l'humidité, la tension et la granulométrie ainsi qu'une variabilité du fonctionnement hydrique quant aux processus et aux termes du bilan hydrique.

La différenciation latérale de la texture du profil s'interprète comme effet d'un appauvrissement en éléments fins des dépôts de sables éoliens, par l'érosion hydrique. Elle surimpose à l'ambivalence de la rétention matricielle de l'eau par les forces d'adsorption et capillaires, une importante diversification du transit et de l'alimentation hydriques *in situ*. La différenciation latérale du profil textural a entre autres conséquences : la stratification de l'espace agropédologique, des difficultés pour l'estimation des termes du bilan hydrique et la variabilité de la production végétale

¹ A. M. [Sicot](#), Laouali Dungal, P. Marini. (1996). La variabilité de l'humidité du sol en milieu sahélo-soudanien et son contrôle à l'échelle micro-météorologique : (300 m x 300 m). In Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience HAPEX-SAHÉL. M. Hoepffner, T. Lebel, B. Monteny. ORSTOM ed. 763p, 43-62

Enregistrement scientifique n° : 868
Symposium n° : 3
Présentation : poster

Effet de la différenciation latérale du profil textural sur le fonctionnement hydrique en milieu sahélo-soudanien

Moisture functioning effect of the lateral differentiation of textural profile under sahelo-sudanian conditions.

SICOT Albert Marcel (1), LAOUALI Dungal (2), MARINI Paul (3)

(1) ORSTOM LCSC 34032 Montpellier, France

(2) Faculté des sciences Université de Niamey, Niger

(3) DPVM CEM de Cadarache BP 13108 Saint Paul lez Durance, France.

Introduction

L'eau est une denrée rare en zone sahélo-soudanienne. Les précipitations atmosphériques redistribuées dans le profil sont souvent les seules sources d'alimentation des plantes en ces régions. La végétation naturelle éparsée, la production hétérogène et fluctuante des champs cultivés sont par suite, tributaires du fonctionnement hydrique des sols. Les données et faits qui vont suivre montrent le rôle joué par la texture du sol et les disparités latérales du profil textural dans ce fonctionnement.

1 Matériel et méthodes

Figure 1. Dispositif d'étude de la dispersion et du suivi de l'humidité du sol

Les investigations ont été menées en 1991 et 1992, sous climat sahélo-soudanien (Sivakumar, 1986) dans le contexte de l'expérience HAPEX-SAHÉL au Niger (Hoepffner et al. 1991). Il s'agissait comme objectif particulier, de constituer au cours d'un suivi tensio-neutronique de l'eau du sol, une banque de données d'humidité du sol pour analyser en zone sahélienne, les échanges d'énergie et de masse à l'interface sol-végétation-atmosphère : (Sicot et al. 1993). Le terrain de 300 m x 300 m, situé 70 km à l'est de Niamey, est en faible pente (1-2 %). Le sol ferrugineux tropical peu lessivé sur sables éoliens, présente une carapace ferro-manganifère de 0,50 m d'épaisseur entre 2 m et 2,50 m de profondeur.

Le dispositif expérimental est décrit dans Sicot et al. (1995) et illustré en figure 1. On signale que les points de mesures, référencés par la lettre M suivie des coordonnées des lignes et colonnes, sont aux noeuds de la grille d'échantillonnage.

L'instrumentation, les méthodes de mesures et la conduite des investigations ont également été décrites dans Sicot et al. (1995) et Cuenca et al. ((1997). On rappelle qu'après étalonnage, les humidimètres à neutrons Solo 25 et le gamma-densimètre Solo 40 du CEA utilisés, ont été contrôlés sur le terrain par des méthodes gravimétriques. La granulométrie du sol a été analysée en cinq niveaux : (0-30 cm, 30-100 cm, 100-240 cm, 240-300 cm, > 300 cm) suivant la méthode de Rouiller et al. (1994). Parmi les paramètres hydrodynamiques déterminés in situ, citons : la capacité au champ, la conductivité hydraulique et la courbe caractéristique obtenues

conjointement par les méthodes de Marcesse (1967) et de Libardi et al. (1980). En préliminaire, la dispersion spatiale de l'eau a été étudiée sur des carottes de sol, à trois reprises en 1991: en fin de saison sèche (phase 1 de la figure 1) en début et en fin d'hivernage (phase 2 et 3) : Sicot et al. (1995).

2 Résultats

2.1 La différenciation texturale du sol

Figure 2 : Variation latérale de la composition granulométrique du sol

Les analyses granulométriques sont hétérogènes. Les disparités font varier la granulométrie du matériau de la texture sableuse à la texture sablo-argileuse, d'après le triangle textural de Jamagne (1967). Le taux d'éléments fins est ordinairement faible dans les couches superficielles du sol (0-30 cm) et en certains sites où les faibles valeurs sont généralisées de la surface à la base du profil. Le taux d'éléments fins augmente progressivement en profondeur, dans les zones intermédiaires. Des noyaux relativement riches en argiles s'individualisent (fig. 2). Cette configuration texturale est répétitive et apparemment organisée selon une périodicité mal appréhendée en raison de la fréquence (1/50 m) et du petit nombre (36) de sondages.

Une organisation texturale similaire à l'échelle décimétrique a été signalée sur sable tertiaire en Basse Côte d'Ivoire par R. Moreau (1987). A des échelles diverses, d'autres exemples ont été décrits en milieu intertropical : Boulet, 1974 ; Nahon, 1976 ; Leprun, 1979 ; Guehl, 1984.

2.2 La distribution de l'eau dans le sol

Figure 3 -. Modalités d'humectation et de dessèchement du sol au 16/12/92

A l'échelle du champ d'expérience, les précipitations sont uniformément réparties à la surface du sol. Le coefficient de variation spatiale des averses ponctuelles (CV) est généralement inférieur à 5 % et n'atteint pas 1 % pour la pluviométrie annuelle. La redistribution au niveau du sol est en revanche disparate dès la surface, à cause de la rugosité de l'interface sol-végétation. L'eau du sol est ensuite distribuée selon des configurations fluctuantes qui laissent coexister en permanence, des sites relativement « secs, humides et intermédiaires ». Cette distribution composite est sous-tendue par un fonctionnement hydrique hétérogène illustré en figure 3 où l'on trouve :

- * des sites à profils hydriques dits « sableux » où l'humectation est progressive et le taux d'humidité faible et quasi-constant ; l'eau s'infiltré régulièrement et profondément au de-là de 3 m ;

- * des sites à profils hydriques dits « argileux » où la quantité d'eau stockée est globalement plus importante mais, le volume d'eau échangeable (stock emmagasinable en humectation ou cessible en dessèchement) est généralement plus faible et plus superficielle ; l'infiltration est progressive et le front d'humectation ne dépasse pas 2,50 m ;

- * des « sites humides » où le taux d'humidité est anormalement élevé surtout en profondeur; la descente du front d'humectation est rapide et les entrées d'eau sont généralement supérieures aux averses correspondantes.

Les conséquences en profondeur sont à noter : sécheresse constante de matériaux sablo-argileux hors du cycle d'humectation-dessèchement, en sites dits argileux, humidité excessive de matériaux grossiers surhumectés, en sites dits humides.

2.3 Relations teneur en eau-granulométrie

Tableau I. Evolution du coefficient de détermination du taux d'humidité en fonction de la composition granulométrique

Le taux d'humidité du sol dépend généralement de la composition texturale du support, du taux d'éléments fins en particulier (tab. 1). Mais les corrélations varient dans l'espace et le temps. En période sèche et tout spécialement dans les couches superficielles du sol intensément desséchées en cette période, le taux d'humidité est fortement lié aux taux d'éléments fins (r tend vers 1). Le 28/04/92, en fin de saison sèche par exemple, les taux d'humidité (θ), d'argile [Ag], limons [Lf] et sables fins [Sf] sont liés par la relation :

$$\theta = 21,46 + 0,437x[Ag] - 0,852x[Lf] - 0,38x[Sf],$$

avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,5$ hautement significatif pour $n=44$ couples de données. Dans les couches profondes où θ est constamment élevée et lorsque le sol est humidifié en hivernage, θ ne dépend que faiblement de la composition texturale. Le 9/09/92, en fin d'hivernage, en désignant par $[Ag + Lf]$ le taux d'argile plus limons fins on a : $\theta = -0,197x[Ag + Lf] + 0,94$

La corrélation est encore significative à 5 % pour $n = 44$, mais la détermination de θ est mauvaise ($r^2 = 0,11$). Par ailleurs, les coefficients de régression et de corrélation ($a = -0,197$ et $r = -0,37$) négatifs, impliquent à cet instant, **une meilleure humectation des matériaux grossiers !**

2.4 Relations teneur en eau-tension

Figure 4. Variations tensio-humidimétriques entre 2 et 2,50 m de profondeur

A la figure 4, sont d'abord reportés trois cas courant d'évolution tensio-humidimétrique observés à 2 m :

1°) en M13, la quasi-invariance des conditions hydriques et tensiométriques; indiquant l'absence d'infiltration à ce niveau ;

2°) en M43, de faibles variations d'humidité, pour d'importantes variations de la tension illustrant un régime d'humectation de matériau sec ;

3°) en M26, une large gamme de variation du taux d'humidité pour de faibles variations de la tension avec en évidence un effet d'hystérésis illustré par des parallélismes dans les alignements des points représentatifs de la relation ; l'état hydrique est au contraire, proche de la saturation ;

4°) En M46, l'évolution tensio-humidimétrique est représentée à 2 m et à 2,5 m de profondeur. A 2 m, les faits sont similaires au cas précédent, mais sans effet d'hystérésis apparent. A 2,5 m, la relation tension-humidité est quasi inexistante. Les tensions varient de façon indéterminée sur (0 à 300 hPa) pour tout taux d'humidité compris entre 15 et 20 m³/100 m³. Ces faits dénotent la présence d'un milieu fissuré et mal drainé.

En résumé, les gammes de variation d'humidité mesurées sont irrégulières et disjointes et les portions de courbes décrites ne correspondent pas à une relation tensio-humidité unique et homogène, même si l'on tient compte de phénomènes d'hystérèse.

3 Discussion

La différenciation latérale de la texture du sol

L'hétérogénéité texturale du sol peut s'interpréter comme effet de l'appauvrissement en éléments fins des dépôts de sables éoliens initiaux. Un tel phénomène résulte de l'action de l'érosion sélective de l'eau et de la mésofaune (Roose, 1994). Dans le cas présent, l'eau semble être l'agent principal. En effet, l'encroûtement et la pente du terrain déclenchent le ruissellement superficiel et la porosité et la fissuration du matériau initient les flux de pénétration et de circulation de l'eau dans le profil. Les processus sont hétérogènes en surface et en profondeur à cause respectivement, du microrelief et de la fissuration du matériau. Il y a des cheminements préférentiels pour le ruissellement et la percolation, jouxtant des zones relativement délaissées. Y correspondent des zones d'excédents et de déficits pluviométriques pouvant, par la variabilité du lessivage des particules fines, provoquer les disparités texturales observées : appauvrissement généralisé dans les couches superficielles affectées par le ruissellement, localisé et différencié en profondeur. Inversement l'hétérogénéité texturale une fois installée, règle les entrées et sorties d'eau dans le profil. L'infiltration et le drainage sont facilités dans les sites très lessivés ou fissurés et limitée dans les zones peu appauvries ou enrichies en éléments fins.

Le fonctionnement hydrique du sol

Il s'ensuit un fonctionnement hydrique basé sur une nette disjonction entre rétention et alimentation hydriques. A l'échelle granulométrique, l'eau est retenue par les forces de succion matricielles. Celles-ci sont pour l'essentiel, des forces d'adsorption aux potentiels de succion élevés (pF (3) ou capillaires dans la gamme des faibles potentiels (pF de 0 à 3) : Musy et Soutier, (1991). Les forces d'adsorption, directement liées aux propriétés de la surface des particules, sont d'autant plus élevées que celles-ci sont plus fines. Les forces capillaires qui dépendent de caractéristiques lacunaires entre particules, sont fonction de leur agencement et par suite de la structure du matériau. L'ambivalence de ces forces explique l'influence prépondérante de la texture dans la rétention hydrique à l'état sec et sa diminution au profit de la structure à l'état humide : Gaucher (1968). Quant à l'alimentation en eau du profil, elle est assurée par la circulation de l'eau dans les macropores et fissures du matériau, sous l'action de la pesanteur. La différenciation texturale qui agit comme une superstructure, a pour effet de diversifier le transit et l'apport d'eau en partageant l'espace en zones de déficits ou d'excédents pluviométriques.

La relation tension-humidité résume les modalités de ce fonctionnement. Les évolutions tensio-humidimétriques décrivent de façon très fragmentaire et imparfaite la courbe en « S renversé » (rotation de 90°) représentative de la relation. Elles traduisent de la sorte, la diversité des disponibilités hydriques locales et des relations partielles tension-humidité sous l'effet de l'hétérogénéité et de la différenciation texturale.

Ce comportement est à rapprocher du fonctionnement hydrique des sols vertiques ou des séquences de sols sous brousses mouchetées ou tigrées. Dans tous les cas, les processus hydriques induites par des différenciations texturales et porales se décomposent séquentiellement en transit rapide et superficiel de l'eau au-dessus de monolithes ou de glacis peu perméables et hypersecs et en infiltration préférentielle dans des sites fissurés ou en dépression, colonisés par la végétation : Sicot (1981) ; Cornet (1992). Les principales divergences ont trait aux matériels pédologiques, à leur texture et porosité, à la périodicité des disparités et au devenir de la charge solide ou dissoute de l'eau...

Conclusion

En milieu sahélo-soudanien, un sol ferrugineux tropical sur sables dunaires apparemment peu différencié, a présenté une différenciation latérale organisée du profil textural influant son fonctionnement hydrique qui juxtapose l'hydrodynamique des milieux sableux, argileux et fissurés. Il en résulte un affaiblissement des relations humidité- texture-tension matricielle qui pour être opérationnelles doivent être fondées sur une modélisation de la redistribution pluviométrique qui tient compte de la différenciation texturale du profil. La stratification de l'espace agropédologique, les difficultés d'estimation des termes du bilan hydrique et la variabilité intra-parcellaire de la production végétale en sont aussi les conséquences.

Bibliographie

- Boulet R., 1974. Toposéquence de sols tropicaux en Haute Volta. Equilibre et Déséquilibre pédoclimatique. Thèse Doc. Sc. Strasbourg, 272 p.
- Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur le ruissellement. ORSTOM ed., Paris, 300 p.
- Cornet A. 1992. Relations entre la structure spatiale des peuplements végétaux et le bilan hydrique des sols de quelques phytocénoses en zone aride. In « L'aridité une contrainte au développement. Le Floch E., Grouzis M., Cornet A., Bille J. ed. ORSTOM Paris, 598 p, 245-265
- Gaucher G. 1968. Traité de pédologie agricole. Le sol et caractéristiques agronomiques. Dunod ed. Paris 579 p.
- Guehl J. M. 1984. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. Ann. Sc. For. 1984, 41, 2 , 195-236.
- Hoepffner M., Goutorbe J. P., Sellers P., Tinga A., 1991. Hapex-Sahel experiment plan. 39 p. Multigr.
- Jamagne, M., 1967. Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann; Agron., 18, n°hors série.
- Leprun J.C., 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. Thèse Doc. Sc., Strasbourg. 222 p.
- Libardi P., Worhardi K., Nielsen D., Biggar J. W. 1980. Simple field method for estimating soil hydraulic conductivity. Soil. Sci. Soc. Am. J. 43, 3-7.
- Marcasse J; 1967. Détermination in situ de la capacité de rétention d'un sol au moyen de l'humidimètre à neutrons. In : Isotope and radiation technics in soil physics and irrigation studies. 23-27. IAEA, Vienna.
- Moreau, R., 1987. Variations spatiales d'une couverture pédologique relativement homogène et expérimentation agronomique en Basse Côte d'Ivoire. Défrichement-mise en valeur des sols acides. IBSRAM proceedings n° 4, 163-172.
- Musy A, Soutier M., 1991. Physique du sol. Presse polytechniques et univ. Romanes. Lausanne. 335 p.
- Nahon D. 1976. Les cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et Mauritanie. Systèmes évolutifs, géochimie, structures relais et coexistence. Thèse Doc. Sc., Marseille, Mém. N° 44, 232 p.
- Roose E. 1994 Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Rome F.A.O. Bull. Pédo. N°70, 422 pages.
- Rouiller J., Souchier B., Bruckert S., Feller C., Toutain F., Vedy J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In Bonneau M. Et Souchier B. Pédologie, t2, 665 p. Masson ed.
- Sicot M. 1981. Analyse sommaire de la dynamique de l'eau sous pluies simulées. ORSTOM

Ouagadougou, multigr. 61 p,

Sicot M., Marini P., Laouali Dungal, 1995 Variabilité de l'humidité du sol en milieu sahélo-soudanien et son contrôle à l'échelle micro-météorologique : (300 m x 300 m). In 10e journées hydrologiques ORSTOM, Montpellier sept 1994.

Sicot M., Marini P., Laouali Dungal, 1993. La banque de données d'humidité du sol des « wab » de jachère et de mil du supersite central. Univ. Niamey, IRI. Rap multigr. 88 pages.

Sivakumar M.V.K., 1986. Climat de Niamey. ICRISAT, Centre Sahélien, Compte Rendu des Travaux n° 1, 36 p.

Mots clefs : Sol ferrugineux tropical, différenciation texturale, hétérogénéité hydrique, fonctionnement hydrique, écoulement préférentiel.

Key words : Tropical ferruginous soil, textural differentiation, soil moisture heterogeneity, soil water functioning, preferential water flow.

Tableau I. Evolution du coefficient de détermination du taux d'humidité en fonction de la composition granulométrique.

Strate	Date	28-avr	30-jun	28-jul	04-août	29-août	09-sep
0-1m	n	44	44	44	44	44	44
	r ²	0.83	0.69	0.42	0.18	0.48	0.72
	niv.sign	**	**	**	**	**	**
1-2.20m	n	11	11	11	11	11	11
	r ²	0.53	0.44	0.41	0.45	0.42	0.48
	niv.sign	*	*	*	*	*	*
> 2.2m	n	22	22	22	22	22	22
	r ²	0.32	0.25	0.19	0.14	0.36	0.29
	niv.sign	**	*	*	*	**	**

n : nombre de couples (taux d'humidité-taux d'argile, limons, sables) r : coefficient de corrélation. niv. sign. : niveau de signification statistique : * = significatif à 5%, ** = hautement significatif à 1%.

Figure 1. Dispositif d'étude de la dispersion et du suivi de l'humidité du sol

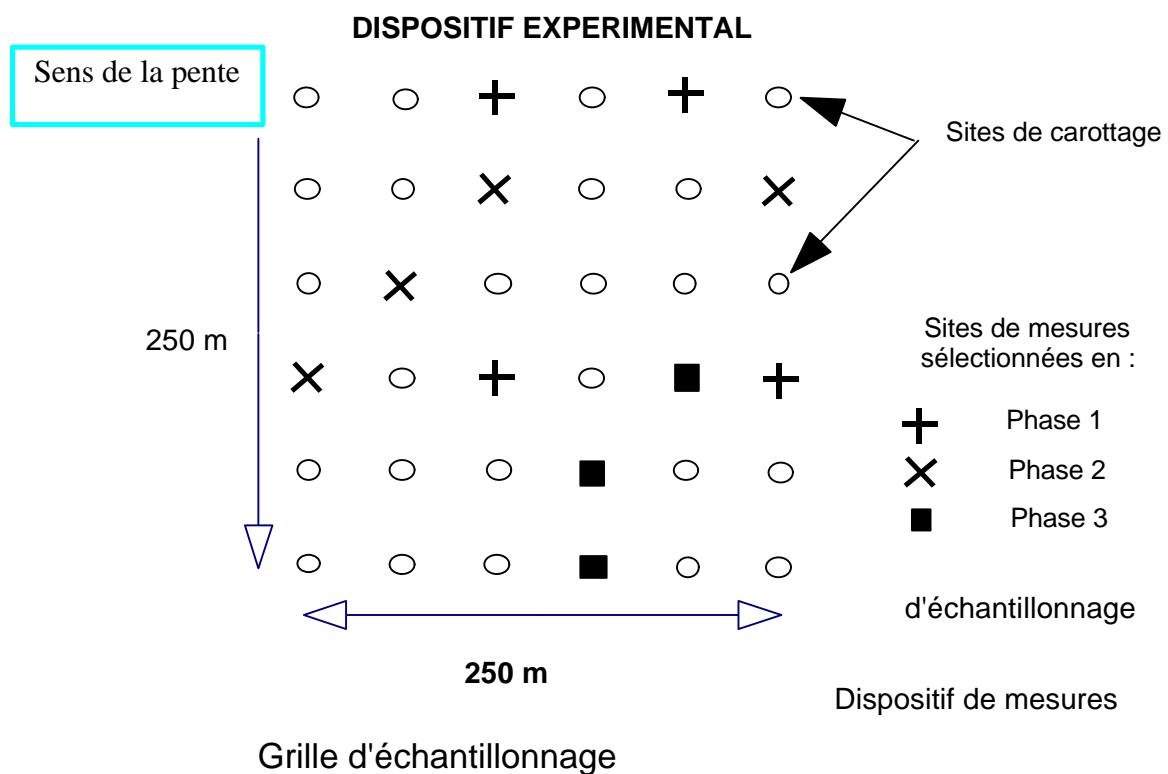


Figure 2. Distribution spatiale du taux d'argile (%) dans le champ de mil en 1988

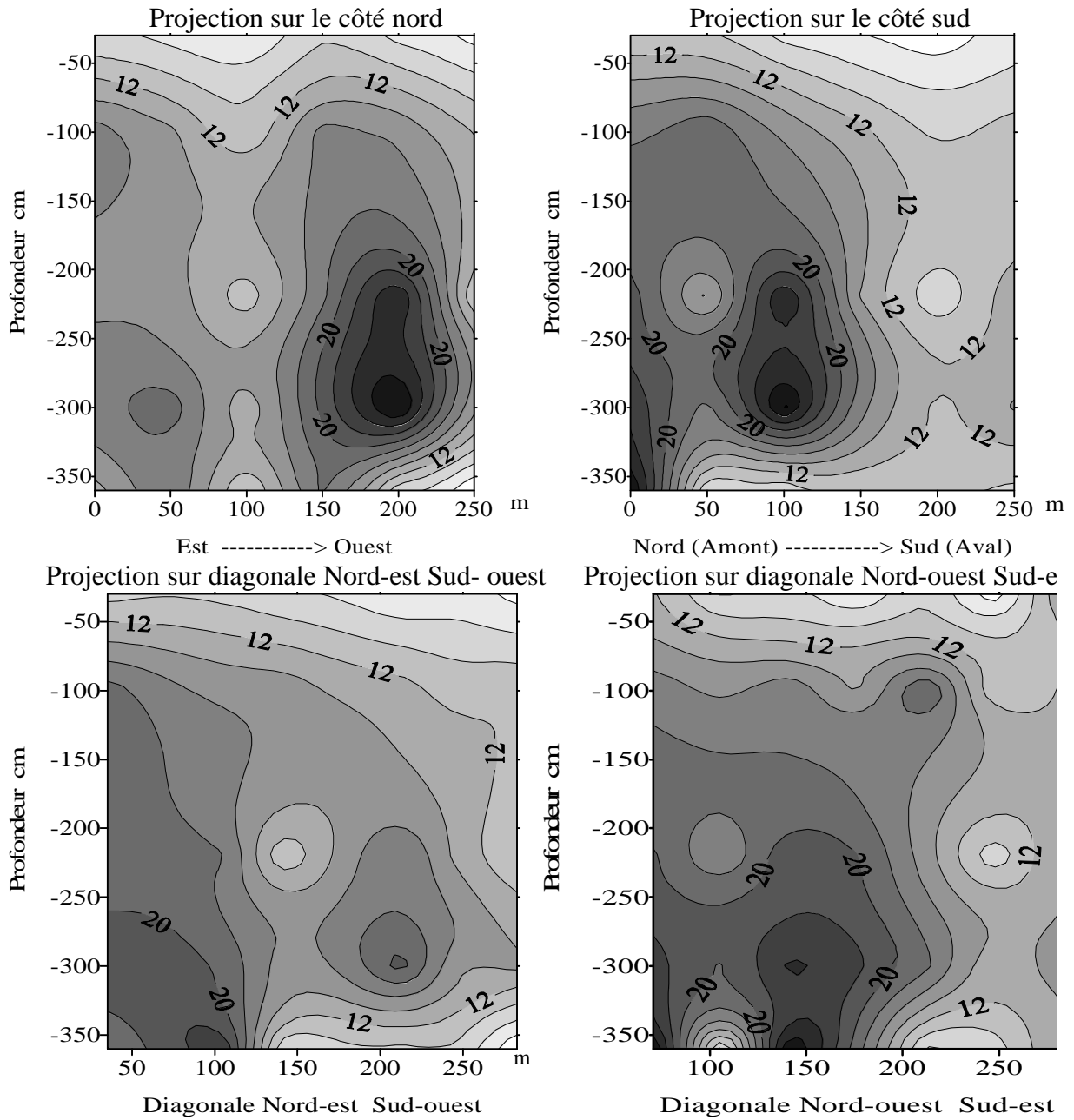
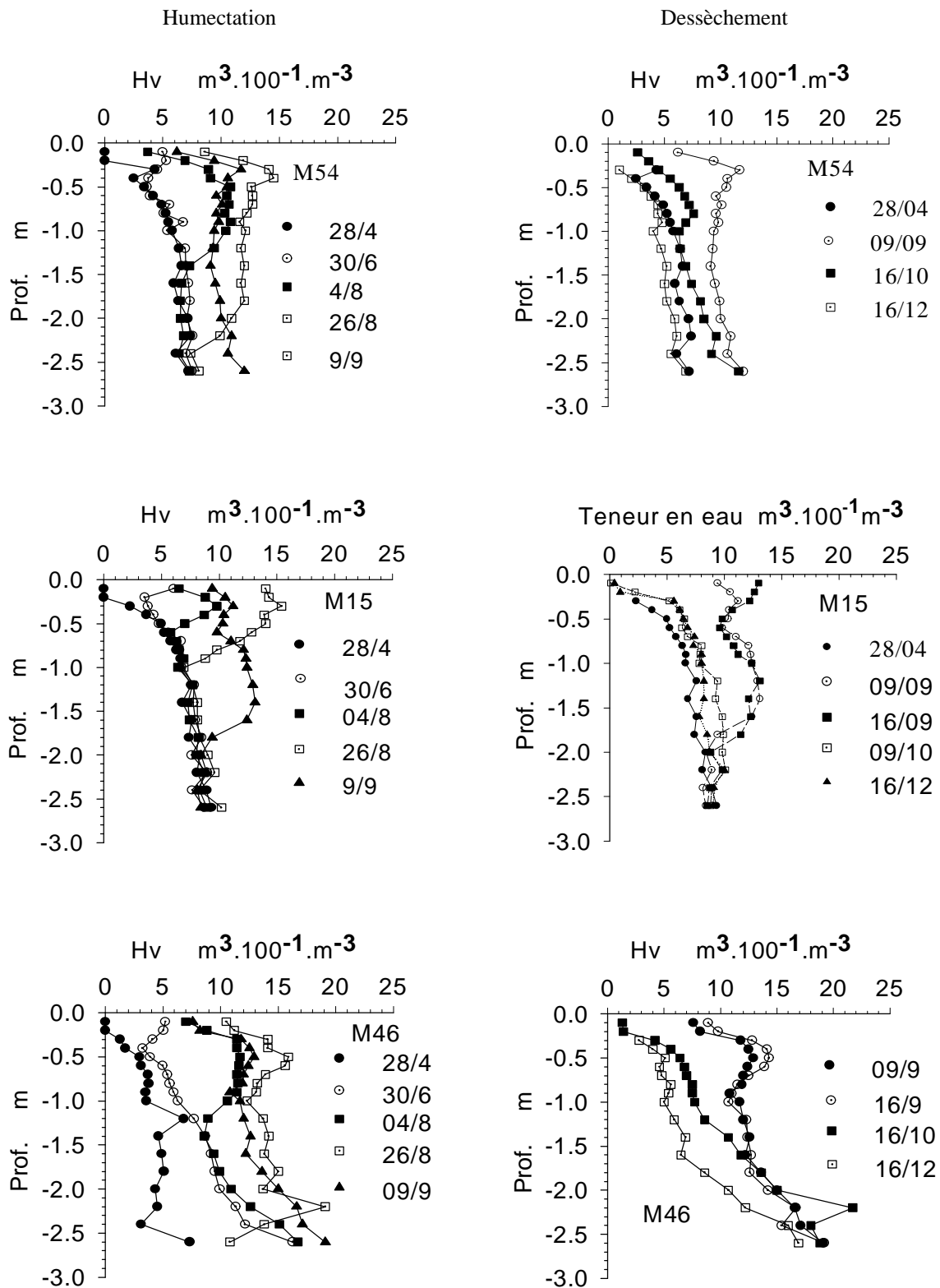
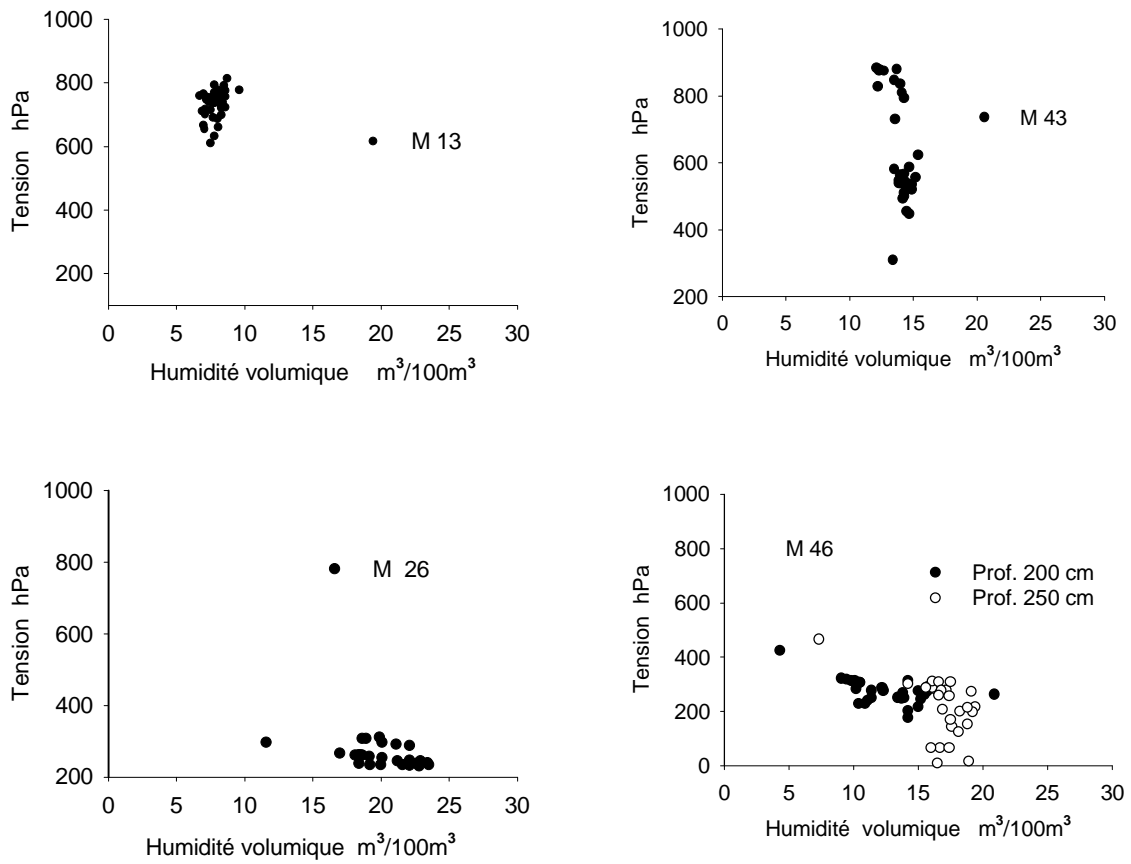


Figure 3 -. Modalités d'humectation et de dessèchement du sol au 16/12/92.



M54, M15 et M46 : sites sableux, sablo-argileux et appauvris en éléments fins.

Figure 4. Variations tensio-humidimétriques du sol



En M13, M43 et M26 données recueillies à 200 cm de profondeur.

En M46, milieu fissuré avec temporairement présence d'eau libre à 250 cm de profondeur.

Mots clés : sol ferrugineux tropical, différenciation texturale, hétérogénéité hydrique, fonctionnement hydrique, écoulement préférentiel.

Keywords : Tropical ferruginous soil, textural differentiation, soil moisture heterogeneity, soil water functioning, preferential water flow.

Mots clés : sol ferrugineux tropical, différenciation texturale, hétérogénéité hydrique, fonctionnement hydrique, écoulement préférentiel.

Keywords : Tropical ferruginous soil, textural differentiation, soil moisture heterogeneity, soil water functioning, preferential water flow.