

L'ÉVAPORATION PENDANT LA SAISON HUMIDE AU SEIN D'UN SOL SABLEUX DE LA RÉGION DE NIAMEY (NIGER)

J. LE FÈVRE¹, M. LAMOTTE¹, C. PEUGEOT^{2,3}

RÉSUMÉ

L'évaporation de l'eau au sein d'un sol sableux et nu de la région de Niamey est étudiée au cours de la saison humide (saison des principales cultures). Une mesure simultanée de la teneur en eau du sol à l'aide d'une sonde TDR et du potentiel total de l'eau à l'aide de tensiomètres à mercure est mise en œuvre. L'analyse des profils de la teneur en eau et du potentiel total permet de déterminer la profondeur atteinte par le flux évaporatoire puis la quantité d'eau évaporée pendant une journée. Les mesures effectuées lors de périodes non pluvieuses ayant duré environ une semaine chacune. Les résultats montrent que la lame d'eau évaporée varie entre 1 et 2 mm/j et que le flux évaporatoire peut atteindre 35 cm de profondeur. L'évaporation peut ainsi provoquer un assèchement rapide du sol sur plusieurs décimètres de profondeur. De plus les lames d'eau évaporées dans un sol à surface encroûtée ou sarclée sont équivalentes. Néanmoins, le sol sarclé perd environ un millimètre d'eau de plus que le sol encroûté au cours de la première journée qui suit une averse.

¹Orstom, B.P. 11416, Niamey, Niger.

²Orstom, B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex, France.

³LTHE, BP 53, 38041 Grenoble cedex, France.

ABSTRACT

The soil water evaporation in a sandy soil is estimated during the wet season (region of Niamey, Niger). The method is based on the monitoring of the change of water storage in the soil. TDR probes and mercury tensiometers are used simultaneously to measure soil water content and soil water pressure respectively. The study is carried out during two periods without rain (approximately a week). It is shown that the evaporation concerns the first 35 cm of soil. The water loss is 1-2 mm/d, whereas the water content does not exceed 35 mm in the first 35 cm. A comparison between a crusted soil surface and a weed controlled soil surface shows a difference in the first 24 hours after it has rained. The hoed soil loses approximately 1 mm more water than the crusted soil.

INTRODUCTION

Au Niger, les sols sableux qui couvrent environ les trois quarts du territoire constituent le principal support des cultures vivrières (GAUVAUD, 1968). Au cours de la saison humide, leur mise en culture se pratique en effectuant un ou plusieurs sarclage après le semis. Ce sarclage vise à augmenter l'infiltration de l'eau lors des averses en détruisant les croûtes formées à la surface des sols, et à éliminer la strate herbacée dont la consommation hydrique est en compétition avec celle des cultures (CASENAVE et VALENTIN, 1989). De nombreuses études sont consacrées au fonctionnement hydrique de ces sols sableux qui sont peu fertiles et où la disponibilité en eau est une contrainte majeure pour la production agricole (SIVAKUMAR et WALLACE, 1991 et WALLACE *et al.*, 1991). L'objectif de l'étude est d'estimer l'évaporation dans les premiers décimètres d'un sol sableux dont la surface nue est encroûtée ou sarclée. Les mesures concernent les périodes de forte dessiccation qui existent entre les événements pluvieux de la saison humide de la région de Niamey. Les mesures concernent un sol dont la surface est soit encroûtée, soit sarclée, de manière à étudier l'effet du sarclage sur l'évaporation (LE FÈVRE, 1993). Les méthodes qui sont couramment utilisées pour estimer l'évaporation sont de trois types (VACHAUD *et al.*, 1991). Les méthodes bioclimatiques permettent d'estimer l'évapotranspiration réelle sur des surfaces homogènes de l'ordre d'un hectare, sans connaître les volumes de sol qui sont concernés par l'évaporation. Les méthodes lysimétriques imposent des conditions de laboratoire (manipuler des volumes de sol non remaniés et appliquer à la base des lysimètres une pression identique à celle enregistrée dans le sol). Enfin les méthodes utilisées ici, elles sont basées sur l'analyse des profils de la teneur

en eau et du potentiel total de l'eau du sol (VACHAUD *et al.*, 1978). Elles nécessitent de déterminer la profondeur atteinte par le flux évaporatoire à un instant donné et de connaître la quantité d'eau évaporée entre deux instants.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

PRÉSENTATION RÉGIONALE

L'étude est effectuée à 65 km de Niamey vers l'ENE, non loin du village de Banizoumbou (latitude 13°31'8"N, longitude 2°39'5"E et altitude 220 mètres environ). L'aridité est le caractère dominant du climat. Une courte saison humide succède à une saison sèche qui dure 8 à 9 mois. Les précipitations se caractérisent par une moyenne annuelle de 600 mm avec une variabilité interannuelle de 25 % (station de Niamey-aéroport, 1951-1980). La température moyenne journalière présente un minimum en décembre-janvier (24°C) et un maximum en avril (35°C), la moyenne annuelle des températures est de 30°C. L'évapotranspiration calculée ET_c (Penman) est très forte avec une moyenne annuelle de 2 270 mm. Enfin, l'insolation est également très élevée, voisine de 9j/jour (SIVAKUMAR *et al.*, 1993). Deux principaux types d'unités morphologiques se distinguent dans le paysage (GAVAUD, 1977 ; COURAULT *et al.*, 1991 ; NAGUMO, 1992) : des plateaux qui s'interrompent brutalement avec un escarpement et des versants disposés depuis l'interruption des plateaux jusqu'aux talwegs. Des horizons ferrugineux indurés développés au sein de la couverture sédimentaire du Continental terminal (Oligocène - Miocène) constituent l'ossature des plateaux (GREIGER, 1957 ; MACHENS, 1973 ; GAVAUD, 1977). Par ailleurs, des matériaux sableux (dépôts dunaires du Quaternaire) sont disposés de manière généralisée sur les versants comme sur les plateaux (GAVAUD et BOULET, 1967). L'aridification et les pratiques culturelles ont conduit au développement des steppes arbustives à épineux qui dominent actuellement. Les sols sont occupés par des jachères et des cultures traditionnelles (principalement de mil).

DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE

Le sol étudié est développé au sein d'un matériau sableux recouvrant localement la surface d'un plateau. Ce matériau constitue une dune aplanie dont les versants ont une pente de 1 à 2 %. Le site de mesure est installé sur l'un des versants (LE FÈVRE, 1993). Selon que la surface du sol a subi ou non un sarclage, les micro-organisations superficielles suivantes sont observées⁽¹⁾. Pour le sol encroûté, une croûte d'érosion constituée d'un microhorizon limono-sableux, épais de 1 à 2 mm, cohérent, faiblement poreux est disposée en continu à la surface du sol. Pour le sol sarclé, l'assemblage des agrégats anguleux façonnés par le sarclage rend la surface du sol irrégulière et développe une forte porosité.

⁽¹⁾ La terminologie fait référence aux travaux de Valentin (1981, 1989) et de CASENAVE et VALENTIN (1989).

Le sol présente des horizons sablo-limoneux, de structure massive reposant à 1,30 mètres de profondeur sur un horizon ferrugineux massif et très cohérent. Les horizons sablo-limoneux sont peu différenciés (tableau 1). Les mesures de teneur en eau réalisées à l'aide d'une sonde à neutron (Galle, non publié) montrent que pour un sol à surface encroûtée la teneur en eau pendant la saison sèche varie de 2 à 4 % sur toute l'épaisseur des horizons sableux (tableau 2). Au cours de la saison humide, l'humectation concerne les horizons situés jusqu'à 1,20 mètres de profondeur. La teneur en eau maximale est de 13 % à proximité de la surface du sol et de 6 % à 1,20 mètres de profondeur (pour un sol à surface encroûtée).

Tableau 1
Principales caractéristiques du sol étudié

Prof.	Horizon	Teinte	da	A	L	S	C	pH	FeL	FeT	0	0	0
[1]		[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	22/08	29/9.	31/5.
											[11]	[12]	[13]
0-10	sable fin humifère	7,5YR4/6	1,66	7	2	91	1,6	4,8	0,5	0,6			
10-20	sable fin		1,61	7	2	91	1,6	4,8	0,5	0,7	12,5	4,5	2,5
20-30	peu	5YR4, 5/6	1,52	9	1	90	1,5	4,8	0,7	0,9	12,5	5,8	2,1
30-40	humifère		1,53	11	2	87	1,5	4,8	0,7	0,9	10,5	6,7	2,5
40-70											5,5	6,8	3,5
70-100	sable fin	5YR5/8	1,53	12	3	85	1,1	4,9	0,7	0,9	3,2	6,1	3,2
100-130											3,5	4,5	3,5
130-160	Cuirasse ferrugineuse	10YR6/8 2,5YR2/4											

[1] Profondeur (cm), [2] Teinte Munsell (état humide), [3] Densité apparente (mesurée à l'aide de cylindres), [4] Teneur en argile (g/100g), [5] Teneur en limon (g/100g), [6] Teneur en sable (g/100g), [7] Teneur en carbone organique - Méthode Anne (g/1000 g), [8] pH eau, [9] Fer libre - Méthode Mehra Jackson (g/100g), [10] Fer total (g/100g), [11] Teneur en eau le 22/8/1992 (cm³/100cm³), [12] Teneur en eau le 29/09/1992 (cm³/100cm³), [13] Teneur en eau le 31/5/1993 (cm³/100 cm³)

Tableau 2
Stock d'eau (mm) du sol encroûté et du sol sarclé (pour la tranche de sol entre 5 et 35 cm de profondeur)

Date	08/7	09/7	10/7	11/7	12/7	13-Jul
Sol encroûté	32,9	28	25,6	24,9	23,8	22,8
Sol sarclé	33,4	30,3	27,5	26,1	24,9	23,8

INSTRUMENTATION DU SITE

L'évaporation de l'eau dans le sol est estimée en étudiant la variation de la teneur en eau et de la charge hydraulique, ces deux grandeurs étant enregistrées simultanément à différentes profondeurs (*méthode du bilan*, VACHAUD *et al.*, 1978). Les profils de teneur en eau permettent de calculer la variation du stock d'eau. L'analyse des profils de charge hydraulique amène à distinguer En s'inspirant de la méthode du bilan (VACHAUD *et al.*, 1978), la teneur en eau et le

potentiel total de l'eau sont enregistrés simultanément à différentes profondeurs. La variation du stock d'eau entre deux mesures est calculée à partir des profils de teneur en eau. L'analyse des profils de potentiel total permet de définir graphiquement la profondeur maximale atteinte par le flux évaporatoire (cote du plan de flux nul défini par $dH/dZ=0$, H étant le potentiel total et Z la profondeur). Selon le protocole adopté, deux dispositifs identiques sont mis en place dans le sol humecté par la pluie. Pour l'un, la surface du sol reste encroûtée ; pour l'autre, la surface est sarclée (après l'installation du dispositif puis après chaque pluie). La teneur en eau volumique du sol est déterminée à l'aide d'une sonde TDR (Soil Moisture Corp., 1989). Chaque détermination nécessite de connecter l'appareil à une paire de tiges en acier inoxydable, longues de 60 cm, horizontales et équidistantes. Ces tiges, appelées guides d'onde sont installées à différentes profondeurs (5, 8, 11, 15, 20, 26 et 35 cm) en les enfonçant à partir de la paroi d'une fosse (figure 1). Elles restent en place pendant toute la durée de l'expérience. Lors du démontage de l'instrumentation, on a procédé à des mesures de teneur en eau à l'aide de la sonde TDR et à partir d'échantillons (teneur en eau déterminée par perte de poids après 48 h dans une étuve à 105°C et densité apparente à l'aide de cylindres de 100 cm³). Une courbe d'étalonnage a ainsi été obtenue (LE FÈVRE, 1993). Afin de déterminer le potentiel total de l'eau pour les mêmes profondeurs, des tensiomètres à mercure sont disposés dans des trous verticaux forés à l'aide d'une tarière. De plus, des microtensiomètres sont installés à 2 cm de profondeur (figure 1).

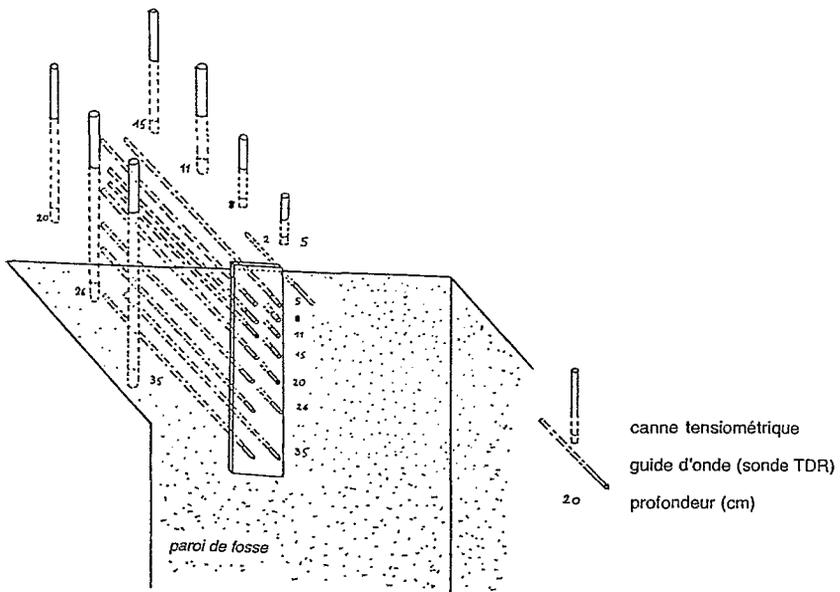


Figure 1 :
Schéma du dispositif de mesure.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude a été réalisée au cours du mois de juillet 1993. Les événements pluvieux ont été les suivants : 8 mm le 6/7, 8 mm le 8/7, 15 mm le 14/7, 8 mm le 16/7, 33 mm le 19/7, 4 mm le 21/7 et 27 mm le 29/7. Les résultats présentés concernent les deux périodes non pluvieuses observées après les événements du 8/7 et du 21/7.

ANALYSE D'UNE PÉRIODE D'ÉVAPORATION

L'averse du 8/7 est suivie d'une période de six jours sans pluie. L'eau du sol est alors soumise aux effets de l'évaporation et du drainage (figures 2 et 3).

Dans le cas du sol encroûté, quelques heures après la pluie du 8/7, la teneur en eau varie entre 13 % à 5 cm de profondeur et 8 % à 35 cm (figure 2). Au bout de six jours, la teneur en eau diminue fortement en surface et moins sensiblement en profondeur (baisse de 5 % à 5 cm de profondeur et de 1 % à 35 cm). Le profil de potentiel total (figure 2), obtenu au même endroit et pour la même période, montre qu'un flux évaporatoire se manifeste en-dessous de 5 cm de profondeur dès le lendemain de la pluie (9/7). Le profil de potentiel qui est présenté dans une gamme entre -50 et -200 mbar (figure 2) permet de déterminer la profondeur atteinte successivement par le flux évaporatoire : à 25 cm le 10/7 et à 34 cm le 13/7 (5 jours après la pluie).

Pour le sol sarclé, les premières mesures enregistrées après la pluie du 8/7 (figure 3) montrent que la teneur en eau varie entre 12 % (à 5 cm de profondeur) et 9 % (à 35 cm). Six jours après cette pluie, la teneur en eau a diminué de 5 % et de 1 % (respectivement à 5 et 35 cm de profondeur). Le flux évaporatoire descend progressivement après la pluie : à 15 cm le 9/7 et à 27 cm le 13/7 (5 jours après la pluie).

Les profils de teneur en eau enregistrés au début de la période de mesure sont plus homogènes pour le sol sarclé que pour le sol encroûté (figures 2 et 3). En revanche, les stocks d'eau sont du même ordre de grandeur pour les deux sols (tableau 2). Les mesures montrent que cinq jours après la pluie, la profondeur atteinte par le flux évaporatoire est du même ordre de grandeur pour les deux sols (34 cm dans le sol encroûté et 27 cm dans le sol sarclé).

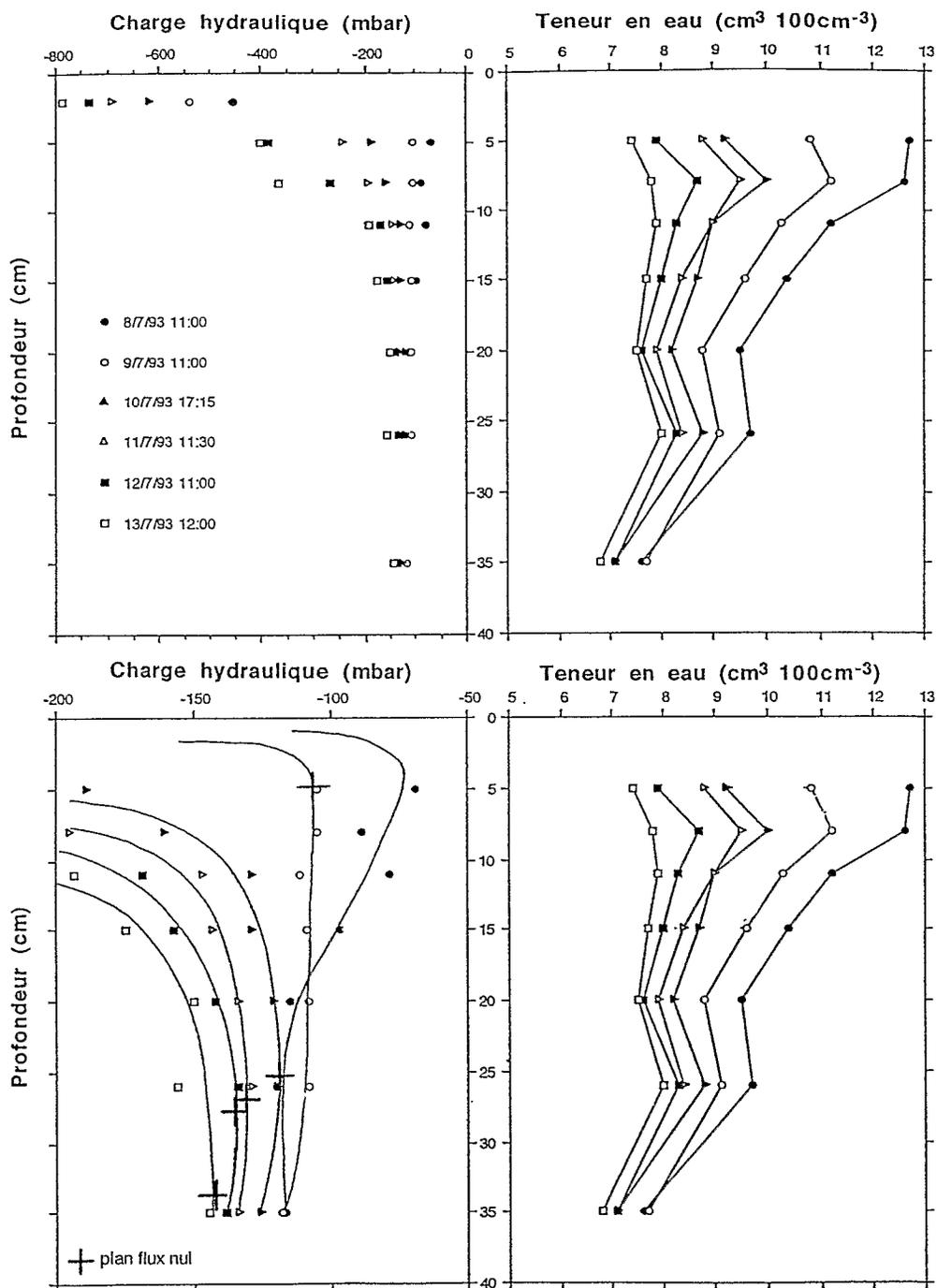


Figure 2 :
 Sol à surface encroûtée (08/7 au 13/7/93).
 Profils du potentiel total et de la teneur en eau.

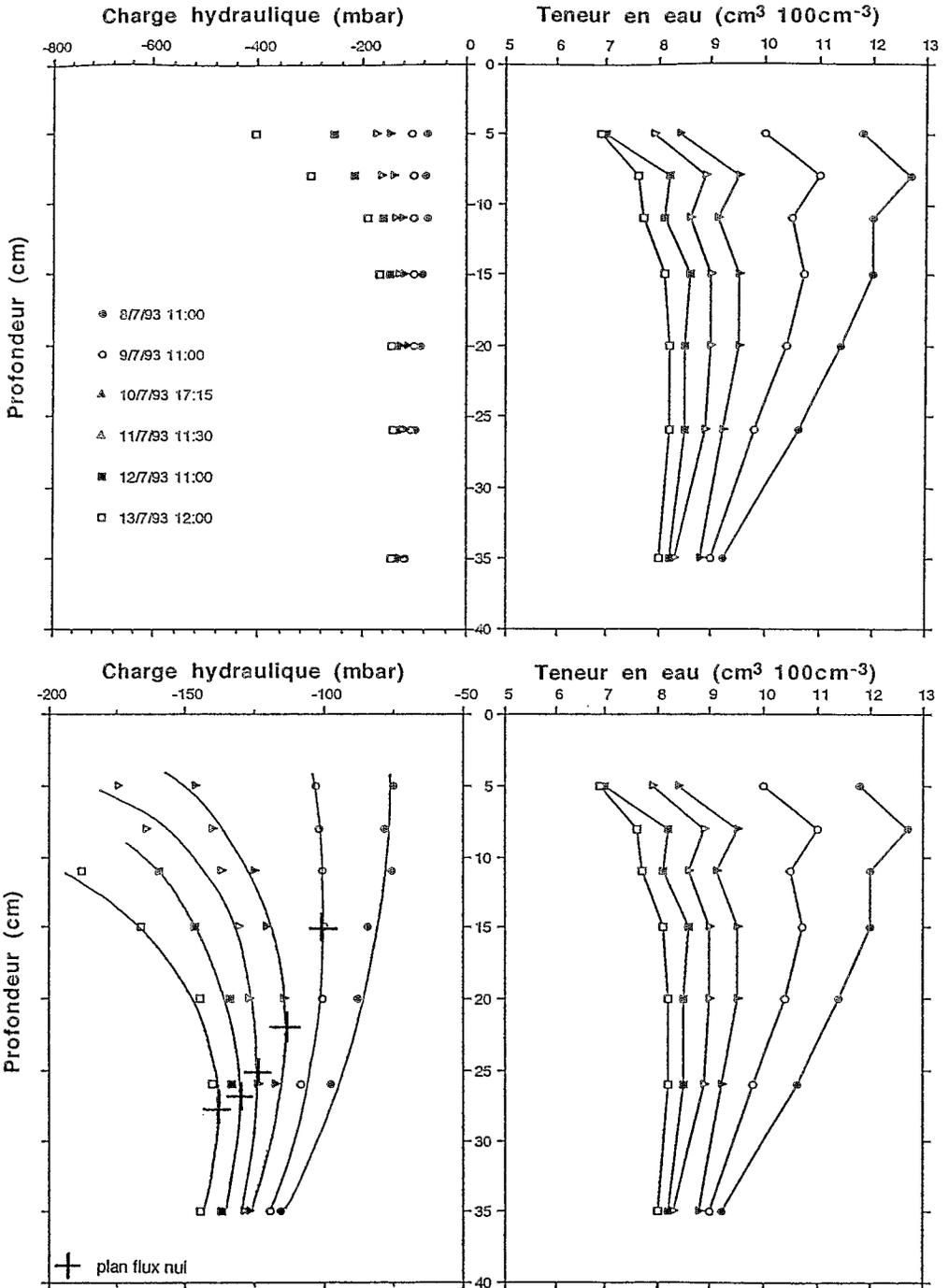


Figure 3 :
 Sol à surface sarclée (08/7 au 13/7/93).
 Profils du potentiel total et de la teneur en eau.

ESTIMATION DE LA LAME D'EAU ÉVAPORÉE AU COURS DE DEUX PÉRIODES SANS PLUIE

La lame d'eau évaporée est estimée d'abord pour la période qui a suivi l'événement pluvieux du 8/7. Pour le sol encroûté, une évaporation se manifeste seulement 48 heures après la fin de la pluie alors que pour le sol sarclé une évaporation significative est enregistrée dès les premières 24 heures (figure 4). La lame d'eau évaporée entre le 8/7 et 13/7 est de 4 mm pour le sol encroûté et de 5,5 mm pour le sol sarclé. Cette différence est imputable à une vitesse d'évaporation plus lente dans le sol encroûté au début de l'assèchement (par la suite les vitesses d'évaporation sont équivalentes).

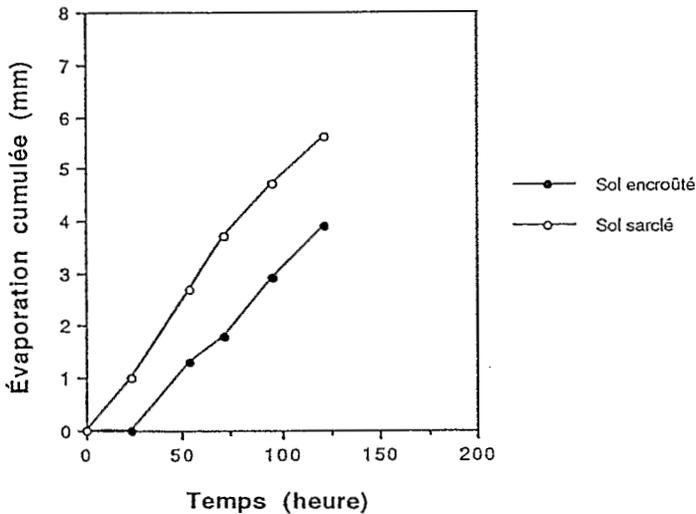


Figure 4 :

Lame d'eau évaporée entre le 08/7 et le 13/7/93 pour le sol encroûté et le sol sarclé.

La variation de la teneur en eau et de la charge hydraulique enregistrée après l'événement pluvieux du 21/7 est présentée sur la figure 5 pour le sol encroûté et sur la figure 6 pour le sol sarclé. Pour le sol encroûté, les profils hydriques obtenus après l'événement du 21/7 sont comparables à ceux qui ont suivi l'événement du 08/7 (figures 2 et 5). Dans le sol à surface sarclée, la teneur en eau varie faiblement avec la profondeur (figure 6). La lame d'eau évaporée au bout d'une semaine est de 5,5 mm pour le sol encroûté et de 7 mm pour le sol sarclé (figure 7). La différence correspond, là encore, à une plus grande vitesse d'évaporation pour le sol sarclé au cours de la première journée.

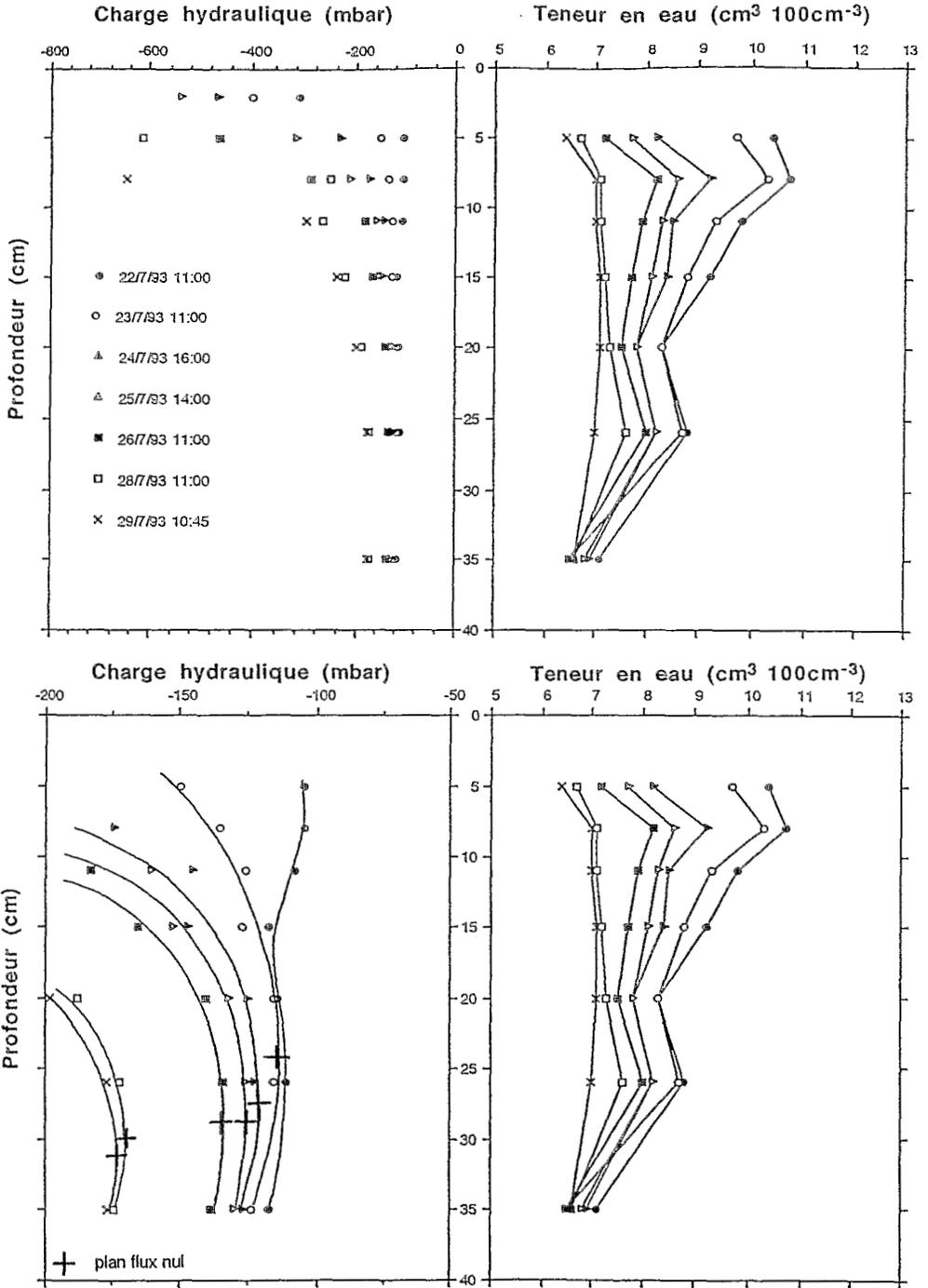


Figure 5 :
*Sol à surface encroûtée (22/7 au 29/7/93).
 Profils du potentiel total et de la teneur en eau.*

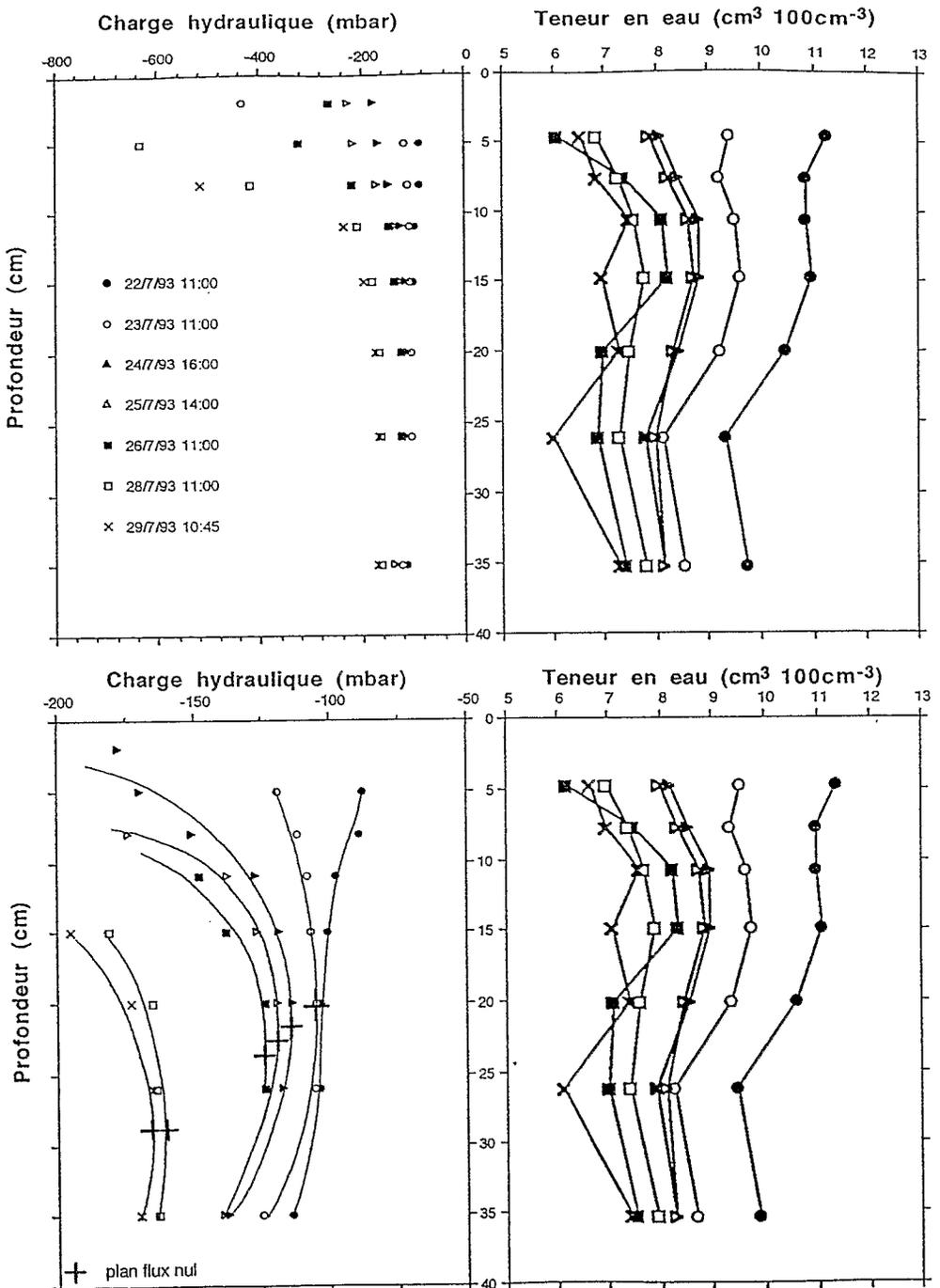


Figure 6 :
 Sol à surface sarclée (22/7 au 29/7/93).
 Profils du potentiel total et de la teneur en eau.

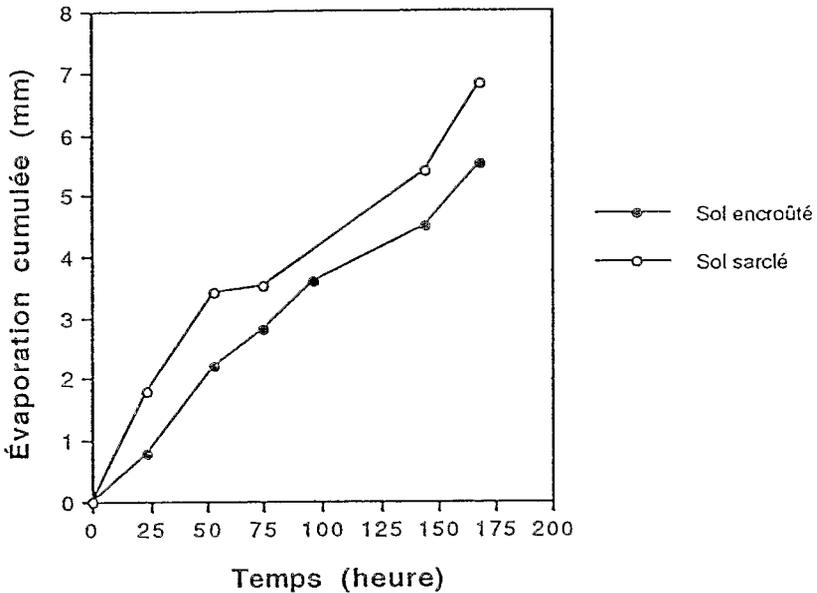


Figure 7 :

Lame d'eau évaporée entre le 22/7 et le 29/7/93 pour le sol encroûté et le sol sarclé.

CONCLUSION

Au cours de la saison humide, les événements pluvieux sont fréquemment espacés de plusieurs jours. Le sol humecté est alors soumis au phénomène d'évaporation et/ou de drainage. L'étude a permis d'estimer la lame d'eau évaporée au cours de deux périodes sans pluie ayant duré une semaine chacune. Le dispositif utilisé pour les mesures s'adapte particulièrement bien à un suivi du fonctionnement hydrique au sein d'horizons sableux peu épais et proches de la surface du sol. Les résultats obtenus montrent que la lame d'eau évaporée varie de 1 à 2 mm dans la tranche de sol considérée (5 à 35 cm de profondeur), l'évaporation peut y provoquer un assèchement rapide. La lame d'eau évaporée au cours d'une semaine sans pluie est du même ordre de grandeur pour un sol à surface encroûtée ou sarclée. Néanmoins, lors de la première journée après une pluie, le sol à surface sarclée perd environ 1 mm d'eau de plus que le sol à surface encroûtée présentant en surface une croûte structurale ou une croûte saline.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Orstom - Niamey et l'Ensa - Rennes. Les auteurs remercient S. Galle, J.L. Rajot et C. Valentin (Orstom), C Cheverry, C. Gascuel-Odoux et C. Walter (Ensa) de leur soutien.

BIBLIOGRAPHIE

- BRESLER, E. et KEMPER, W.D., 1970. Soil water evaporation as affected by wetting methods and crust formation. *Soil Sc. Am. Proc.*, 34, 3-8.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Didactiques, Orstom (Paris), 202 p.
- COURAULT D., D'HERBES J.M., VALENTIN C., 1991. Le bassin versant de Sama-Dey. Premières observations pédologiques et phytoécologiques. Rapport multigraphié (Orstom, Paris), 31 p.
- DOMBY C.W., KOHNKE H., 1956. The influence of the soil crust on gaseous diffusion. *Soil Sci. Am. Proc.*, 20, 1, 1-5
- GALIZZI F.A., PEINEMANN N., 1989. Soil surface salty crusts and water loss by evaporation. *Soil Sci. Soc. J.*, 53, 1605-1607.
- GAVAUD M., 1968. Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 6, 3-4, 277-307.
- GAVAUD M., 1977. Les grands traits de la pédogenèse du Niger méridional. *Trav. et Doc. Orstom*, 76, 102 p.
- GAVAUD M., BOULET R., 1967. Carte pédologique de reconnaissance de la République du Niger. Feuille à 1/50 000. Orstom (Dakar).
- GREIGER J., 1957. Introduction à la connaissance hydrogéologique du bassin occidental du Niger. Dir. Fed. Mines et Géol., multigraphié (Dakar)
- LE FÈVRE J., 1993. L'évaporation au sein de sols sableux du Niger au cours de la saison humide. Comparaison d'un sol encroûté et d'un sol sarclé. Mémoire DAA, Ensa-Rennes et Orstom-Niamey, multigraphié (Ensa - Rennes), 43 p.
- MACHENS M., 1973. Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'ouest de la république du Niger. Mémoire BRGM, 82, 168 p.

- NAGUMO F., 1992. Pedological environment and agro-ecological system of the sudano-sahelian zone, Niger, West Africa. Thesis for Master Course, Hokkaido University et Orstom-Niamey, multigraphié (Hokkaido), 86 p.
- SIVAKUMAR M.V.K., WALLACE J.S., 1991. Soil water balance in the soudano-sahelian zone : need, relavance and objectives of the workshop. In : Soil water balance in the sudano-sahelian zone (Proceedings of international workshop, Niamey, 1991). SIVAKUMAR M.V.K., WALLACE J.S., Renard C., Giroux C. Ed., IAHS Publ. (Wallingford), 199, 3-10.
- SIVAKUMAR M.V.K., MAIDOUKIA A., STERN R.D., 1993. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : le Niger. Icrisat, *Bull. Information*, 5 (deuxième édition), 1-108.
- SOIL MOISTURE CORPORATION, 1989. Trase system 1. For soil moisture measurements operating instructions. Multigraphié, 53 p.
- VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., THONY J.L., 1978. Méthodes de caractérisation hydrodynamique *in situ* d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. *Ann. Agro.*, 29, 1-36.
- VACHAUD G., VAUCLIN M., CISSE L., 1991. Mesure *in situ* de la consommation en eau de cultures pluviales par humidimétrie neutronique. In : Soil water balance in the sudano-sahelian zone (Proceedings of international workshop, Niamey, 1991). SIVAKUMAR M.V.K., WALLACE J.S., Renard C., Giroux C. Ed., IAHS Publ. (Wallingford), 199, 275-288.
- WALLACE J.S., GASH J.H.C., MC NEIL D.D., SIVAKUMAR M.V.K., 1991. Evaporation from a sparse dryland millet crop in Niger, West Africa. In : Proceedings of the international conference on dryland farming. Unger P.W., Sneed T.V., Jordan W.R., Jensen R. Ed. Texas A.M. University Press (College station, Texas), 325-327.