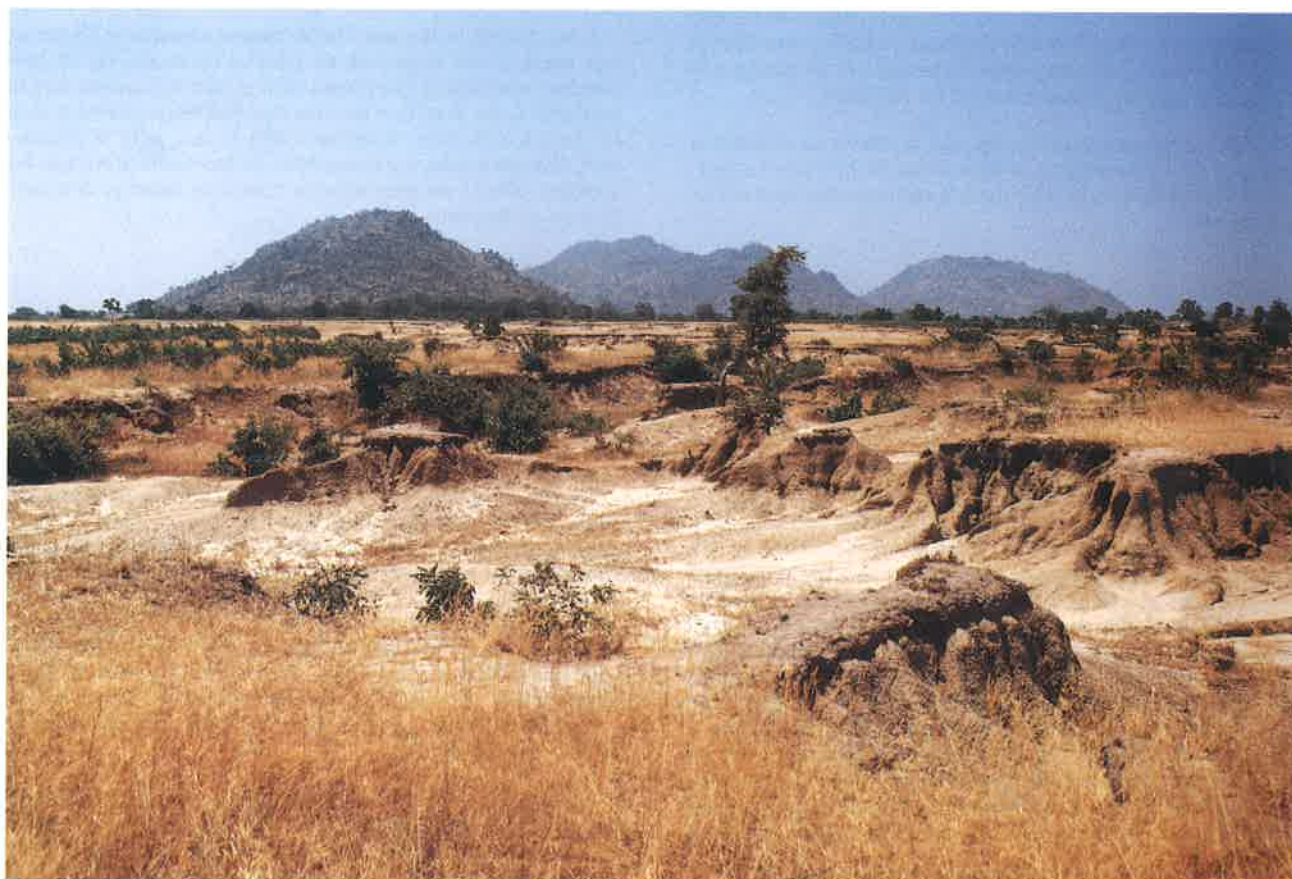


HYDRODYNAMIQUE D'UN SOL HARDÉ DU NORD-CAMEROUN

Caractéristiques et comportement

par Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue, IRA
et Roger PONTANIER, pédologue, ORSTOM



Les forts ruissellements constatés sur Hardé entraînent la formation de griffes d'érosion et causent des inondations en aval des bassins, même de taille modeste.

RÉSUMÉ

Les sols Hardé sont dérivés de vertisols aux caractéristiques très homogènes sur l'ensemble du profil (40 % d'argile smectitiques, pH neutre, 0,8 % de matière organique, CEC de 35 meq/100 g). Ils se distinguent de ceux-ci par la dégradation de l'horizon superficiel sur une profondeur de 10 à 20 cm ; cette dégradation se manifeste par une structure massive et l'absence de pores et d'activité biologique. En surface, la pellicule de battance est renforcée par une couche d'algues de couleur sombre. Dans cet horizon dégradé, les fentes ont disparu, la teneur en argile est proche de 10 %, la matière organique en relation avec la disparition de la végétation tombe à 0,5 % et la capacité de stockage de l'eau, disponible pour la végétation, à 7 mm pour 10 cm de sol (contre 20 mm pour le vertisol). L'érosion dégage parfois 1 m de sol jusqu'à atteindre l'horizon calcique à nodules calcaires.

La technique de simulation de pluie a permis de déterminer en mode synchrone les quantités d'eau infiltrées et le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol.

Par ailleurs, des suivis pluriannuels en mode diachrone permettent de mesurer en conditions naturelles les lames d'eau ruisselées, la quantité d'eau infiltrée, ainsi que la redistribution spatiale et temporelle de l'eau du sol par la méthode des profils hydriques (sonde à neutrons).

On voit ainsi que les sols Hardé perdent jusqu'à 50 % d'eau par ruissellement sur une année ; de ce fait, en année déficitaire, ce ne sont que 250 mm d'eau qui s'infiltrent. Pour des pluies très violentes, l'infiltration baisse jusqu'en dessous de 30 %.

L'humectation des sols Hardé dépasse rarement 25 cm et leur stock d'eau augmente en général de moins de 25 mm pendant une saison des pluies (soit quatre fois moins que le vertisol). C'est ainsi que les sols Hardé offrent rarement plus de deux à trois mois de disponibilité en eau pour la végétation, chaque année, sur l'ensemble de leur profil alors que les vertisols offrent en permanence quelques réserves disponibles en profondeur.

ABSTRACT

Hardé soils are derivatives of vertisols, of very homogeneous characteristics through the entire profile (40 % smectitic clay, neutral pH, 0,8 % organic matter, CEC of 35 meq/100g). The difference between the two is the superficial degradation of the horizon of the Hardé soil to a depth of 10 to 20 cm usually seen as a massive structure with neither pores nor any biological activity. On the surface, a film of compact material is reinforced by a dark colour layer of algi. All cracks have disappeared from this degraded horizon and clay content is close to 10 %. The organic material content is reduced to 0.5 % while the available water retention capacity for the vegetation drops to 7 mm/10 cm of soil (as opposed to 20 mm to 10 cm for vertisols). Sometimes erosion takes away up to 1 m of the soil to reach the calcic nodulous horizon.

The rainfall simulation technique was used to determine, in a synchronous mood, the amount of infiltrated water and the rainfall efficiency coefficient in the recharge of soil water reserves.

On the other hand, a diachronous pluriannual follow up under natural conditions makes it possible to measure water runoff, infiltration, and the spatial and temporal soil water redistribution using the water profile method (gamma neutron probe).

The results of this study showed that Hardé soils could lose up to 50 % of their water annually through runoff. As a result of this, only 250 mm of water infiltrate during a year of insufficient rainfall. During violent rainfalls, infiltration could even drop below 30 %.

The depth of moistened Hardé soils scarcely goes beyond 25 cm and the water stock increase of these soils is generally less than 25 mm through out the rainy season. This is 4 times less than the case of vertisols. This explains why Hardé soils rarely have more than 2 to 3 months of available water in their profile for the vegetation each year while vertisols permanently have some water reserves available in the deeper layers of the soil.

Nous présentons ici les résultats d'une recherche entreprise dans le Nord-Cameroun, concernant la caractérisation des propriétés physico-hydrauliques et du régime hydrique d'un sol Hardé assez répandu dans le Nord-Cameroun. Celui-ci, représentatif du faciès extrême de dégradation des vertisols à pédoclimat sec (Unité cartographique n° 29, BRABANT et GAVAUD, 1985, et Série Boboyo, MARTIN, 1963), qui couvrent une superficie de 170 000 ha dans la province de l'Extrême-Nord, a été étudié dans la zone test de Mouda où il a déjà fait l'objet d'études pluridisciplinaires (PONTANIER *et al.*, 1985 ; CCE, 1988 ; THEBE, 1987 ; SEGHIERI, 1990 ; SEINY-BOUKAR, 1990). Le sol de ces milieux Hardé, caractérisés par une végétation principalement herbacée très clairsemée, uniquement présente en saison des pluies, et un peuplement ligneux extrêmement faible et dispersé, se singularise par un dysfonctionnement hydrique très prononcé. Il en résulte une forte perte des eaux de surface par ruissellement, une faible pénétration de l'eau à l'intérieur du profil et une forte reprise par l'évaporation de l'eau infiltrée ; on doit noter, par ailleurs, une très forte sensibilité à l'érosion hydrique de ce type de sol. Nous n'aborderons pas ici les causes et raisons principalement d'origine anthropique, qui ont conduit à une telle dégradation de ces savanes sur vertisol en bon état car elles ont été présentées par ailleurs (SEGHIERI, 1990 ; DONFACK, *in* : CCE 1988). Notre propos consiste donc ici à présenter brièvement les traits les plus originaux de ce type de sol, que les paysans, dans un avenir proche, devront réhabiliter en raison d'une pression sur les terres sans cesse croissante (MASSE, *et al.*, 1990). Les résultats mis en avant ici ont été collectés entre 1985 et 1987. Nous tenterons, chaque fois que possible, de les comparer à ceux du faciès non dégradé de la série des vertisols.

LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU SOL HARDE

La figure 1, p. 41, montre les caractéristiques physico-hydrauliques principales du sol Hardé de Mouda. Ce sol est hérité des vertisols à pédoclimat sec, dont les caractéristiques analytiques présentent une grande homogénéité sur l'ensemble du profil en ce qui concerne la texture (40/45 % d'argiles smectitiques), le pH voisin de la neutralité, la matière organique (0,8 à 1 %) et la CEC proche de 35 meq/100 g. En saison sèche, ce sol est caractérisé par de larges fentes en surface. Le sol Hardé se distingue de ce dernier par la dégradation et la troncature de l'épipédon ; la profondeur atteinte par la dégradation est le plus souvent comprise entre 10 et 20 cm et se manifeste par une structure massive, l'absence de pores et d'activité biologique. En surface, la pellicule de battance est presque généralisée, souvent renforcée par une couche d'algues (cf. photo, p. 42). Dans cet horizon dégradé, où les fentes ont disparu, la teneur en argile n'est plus que de 10 à 15 %, la matière organique en relation avec la disparition de la végétation devient moins abondante (0,4-0,5 %). Toujours dans cet horizon superficiel, la capacité de stockage de l'eau disponible pour la végétation (point de flétrissement à -1,6 Mpa) devient faible : 7 mm pour 10

cm de sol contre 15 à 20 mm pour le faciès non dégradé. Les indices de l'érosion en nappe sont apparents, la troncature du sol peut atteindre, et mettre à nu, l'horizon calcique à nodules calcaires qui se trouve souvent au-delà d'un mètre dans le faciès en bon état.

COMPORTEMENT HYDRIQUE DU SOL HARDE

Deux approches méthodologiques complémentaires ont été utilisées pour déterminer les caractéristiques principales du comportement hydrique du sol Hardé.

- La première a fait appel aux techniques de la simulation de pluie (ASSELIN et VALENTIN, 1978 ; CHEVALIER, 1982 ; PONTANIER, *et al.* 1985 ; TRIVISAN, 1986 ; ESCADAFAL, 1989) et a permis de déterminer, en mode synchrone, les quantités d'eau infiltrées ou le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol (KE %).
- La deuxième a consisté à mesurer par des suivis pluriannuels, en mode diachrone et sous conditions naturelles, les lames annuelles ruisselées et la quantité d'eau infiltrée ; de plus, elle a permis de suivre la

redistribution spatiale et temporelle de l'eau du sol par la méthode des profils hydriques mesurés à la sonde Solo 25.

■ **Reconstitution des réserves en eau du sol**

C'est l'un des aspects essentiels du comportement hydrique du sol ; celui-ci dépend de l'état de surface (CASENAVE et VALENTIN, 1989), du couvert végétal et de l'état d'humectation du sol.

Ainsi, sur de petites parcelles de ruissellement de 1 m² installées sur le sol Hardé, suivies durant deux saisons des pluies (1986 et 1987), a-t-on pu établir, pour 49 événements représentant 90 % environ des hauteurs précipitées au cours des deux années, les corrélations suivantes :

● **Avant le 1er août :**

(1) LR = 0,43 PU + 0,25 IK — 6,89 (r² = 0,88)

● **Entre le 1^{er} et le 31 août :**

(2) LR = 0,35 PU + 0,24 IK — 4,44 (r² = 0,86)

● **Après le 31 août :**

(3) LR = 0,47 PU + 0,17 IK — 5,28 (r² = 0,92)

Avec :

LR = Lamme ruisselée (mm)

PU = Pluie totale précipitée (mm)

IK = Indice d'humectation de Kohler (in THEBE, 1987), calculé de la façon suivante :

(4) IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-αt}

où :

IK_{n-1} = indice d'humectation avant la pluie n

P_{n-1} = hauteur de la pluie précédant la pluie n (mm)

t = temps en jours et fractions de jour séparant la pluie n et la pluie n-1

α = coefficient de calage (α = 0,5 dans notre cas)

Ces résultats obtenus en mode diachrone montrent qu'à l'échelle de l'année, les sols Hardé peuvent perdre de 40 % à 50 % d'eau par ruissellement [équations (1) et (3)] et que, pour certaines années très déficitaires, ce sont seulement 250 à 350 mm qui s'infiltrèrent dans ce sol Hardé.

Les valeurs d'eau infiltrée dans le sol, mesurées en mode synchrone lors des différentes campagnes de simulation de pluie, confirment ces chiffres ; en effet, pour des séquences de pluies de récurrence d'une année sur dix environ, la lame d'eau infiltrée dans le

même sol Hardé ne représente que 30 % de l'eau précipitée (P = 112 mm) dont la moitié avec une intensité supérieure à 70 mm/h (PONTANIER *et al*, 1985 ; THEBE, 1987).

■ **L'évolution des réserves hydriques dans le sol et le temps**

Au cours des années d'observation, jamais nous n'avons vu un sol Hardé d'origine vertisolique s'humecter au-delà de 25 à 30 cm, ni le stock d'eau totale augmenter de plus 25 mm. Si l'on prend comme référence le vertisol non dégradé, dont le sol Hardé est issu par détérioration, on constate que le premier peut s'humecter jusqu'à 70 cm et qu'il peut surtout accroître, au cours de la saison, son stock d'eau très au-delà de 100 mm, soit quatre fois plus que celui du sol Hardé.

On peut voir, sur la figure 2, les évolutions comparées des profils hydriques du vertisol non dégradé et du sol Hardé et, sur la figure 3, celles des réserves en eau totale.

■ **Les disponibilités en eau pour la végétation**

Du concept du continuum sol-plante-atmosphère de PHILIP (1966), on retiendra la notion de disponibilité en eau ; celle-ci s'exprime par :

(5) Rd = ∫₀^Z (Hi — HpF) dz

où :

Hi = humidité volumique du sol à l'instant i de la tranche de sol dz

HPF = humidité volumique équivalente au point de flétrissement

HILLEL (1974), FLORET et PONTANIER (1982), CHAIEB (1989) font remarquer que si, habituellement, on retient comme valeur limite du point de flétrissement, l'eau qui est à un potentiel de Φ = -1,6 mPa, il existe de nombreuses espèces en zone aride dont le point de flétrissement est beaucoup plus bas ; néanmoins, nous retiendrons ici cette valeur.

C'est ainsi que le sol Hardé, tant pour l'horizon 0-40 cm que pour la tranche de sol 0-80 cm, offre rarement plus de deux à trois mois de disponibilités en eau pour la végétation, alors que le vertisol non dégradé dont il est issu présente, lui, cinq à six mois de disponibilités dans la tranche 0-40 cm et douze mois sur l'ensemble du profil (réserve disponible permanente en profondeur).

CARACTÉRISATION

FIGURE 1
Caractéristiques physico-hydriques du sol Hardé d'origine vertisolique de Mouda

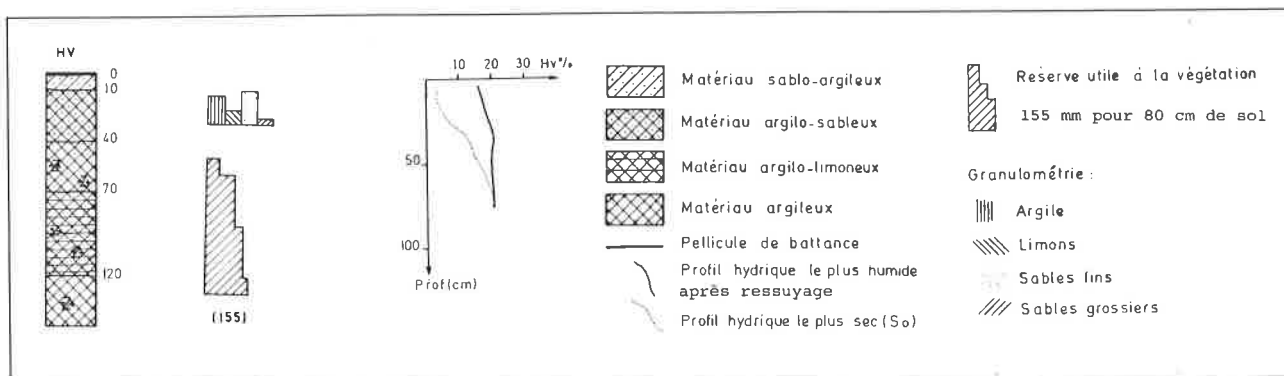


FIGURE 2
Comparaison au cours de l'année 1986 des profils hydriques d'un vertisol et de son faciès de dégradation (Hardé)

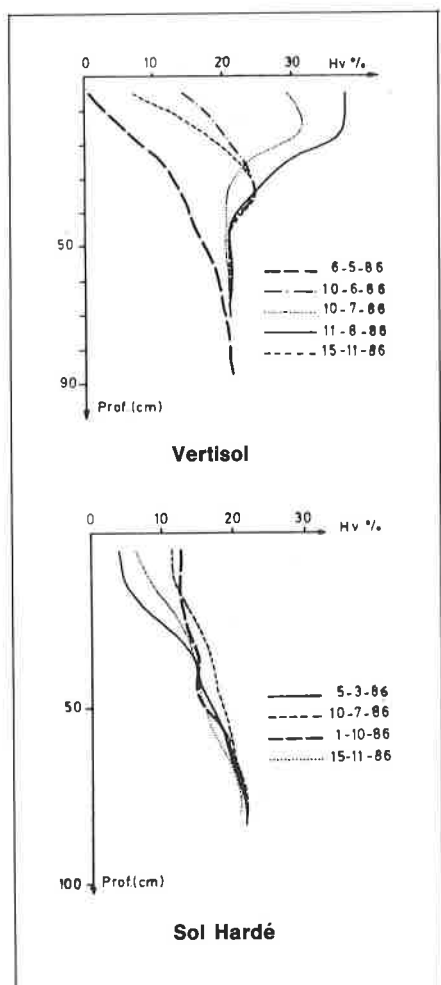
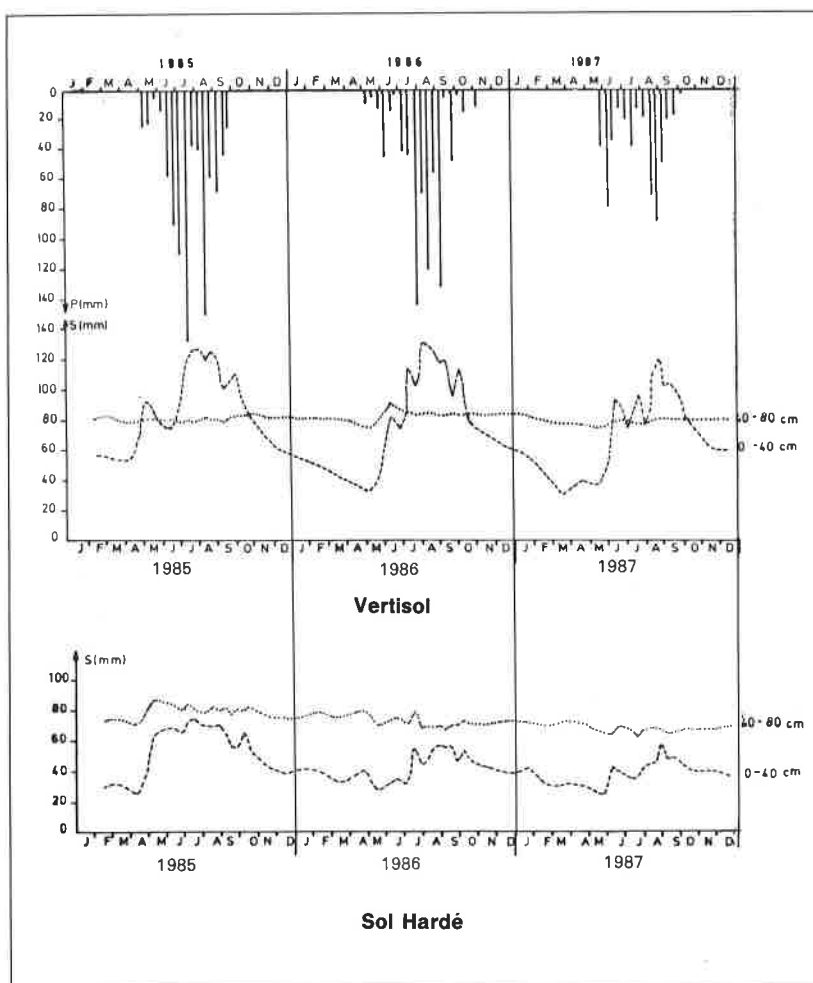


FIGURE 3
Comparaison de l'évolution annuelle des réserves en eau totale (S,mm) d'un vertisol et de son faciès de dégradation (Hardé)



CONCLUSION

Sur le tableau ci-dessous nous avons porté, pour comparaison, les comportements hydriques du sol Hardé et du vertisol en bon état. Le dysfonctionnement hydrique du sol Hardé y est largement mis en évidence. Ainsi, l'infiltration est-elle en moyenne de 50 à 60 % moindre sur le sol Hardé que sur le vertisol non dégradé, ceci étant lié à une déstructuration de l'épipédon en relation avec la baisse de la matière organique (de 0,8 à 0,4 %), la généralisation des pellicules de battance et la disparition des fentes de retrait. La profondeur maximale humectée est le double sur le vertisol modal ; quant au stockage maximal de l'eau, il est de trois à quatre fois plus important sur le vertisol ; ceci est dû à la reconstitution de réserves localisées plus profondément, en relation avec une meilleure structuration et grâce à la présence de fentes.

celle qui intéresse surtout la végétation herbacée, le vertisol présente une durée de disponibilité en eau deux à trois fois plus longue que celle du sol Hardé ; par ailleurs, on doit noter que l'aridité d'origine climatique est profondément modifiée par les formes édaphiques. Ainsi, l'aridité climatique est-elle en terme de durée diminuée de 50 % dans le cas des vertisols non dégradés en raison de leurs propriétés physico-hydriques mais, en revanche, accentuée de 25 % dans le cas des sols Hardé ; la raison en est leur faible aptitude à l'infiltration liée à une dégradation physique, d'origine anthropique, de leur horizon de surface. ■

Lamine SEINY-BOUKAR
Institut de la Recherche Agronomique
BP 33 Maroua (Cameroun)

Roger PONTANIER
ORSTOM, 7, rue Teimour, BP 434 1004 El Menzah
Tunis (Tunisie)

Comparaison des régimes hydriques d'un sol Hardé d'origine vertisologique et du vertisol non dégradé

	Vertisol non dégradé	Sol hardé d'origine vertisologique
Profondeur maximale humectée (cm)	60 à 70	25 à 35
Coefficient d'efficacité de la pluie Ke (%) (sous pluies naturelles)	75 à 85	55 à 65
Accroissement maximal des réserves en eau du sol (0-80 cm) en mm	90 à 120	25 à 35
Disponibilité en eau pour la végétation point flétrissement à $\Phi = -1,6$ mPa (en mois)		
• pour 0-40 cm	5 à 6	2 à 3
• pour 0-80 cm	12	2 à 3

Reprenant les concepts d'aridité climatique et d'aridité édaphique de FLORET et PONTANIER (1982 et 1984), on constate qu'au sens d'AUBREVILLE, il y a sécheresse si la pluviosité mensuelle est inférieure à 30 mm (soit huit mois par an à Maroua) et qu'il y a sécheresse climatique si la pluviosité mensuelle est inférieure à l'Evapo Transpiration Potentielle (ETP) Penman mensuelle (soit neuf mois par an à Maroua). La sécheresse édaphique se manifeste par l'incapacité du sol à restituer son eau aux végétaux ; on a considéré, dans notre cas, qu'une eau retenue par le sol à des potentiels inférieurs à -1,6 mPa ne pouvait plus être facilement accessible à la végétation. Ainsi, constate-t-on que, pour la tranche de sol 0-40 cm,



En début de saison des pluies, croûte d'algue dans une petite dépression d'un sol Hardé.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASSELIN (J.) et VALENTIN (C.), 1978. — Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. Vol XX n° 4, 1978, pp. 321-349.
- BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Carte et notice explicative n° 103. MESRES-IRA, Yaoundé. ORSTOM, Paris. Ed. de l'ORSTOM, Paris, 285 p. + 6 cartes couleur h. t.
- CASENAVE, (A.) VALENTIN (C.), 1989. — Etats de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. CEE/ Editions de l'ORSTOM, Paris, 229 p.
- CEE, 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). Rapport final. Contrat TSD.A.216.CAM (DG 12.CEE)- MESRES-ORSTOM-CNRS.
- CHAIEB (M.), 1989. — Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. IRA Médenine Tunisie, ORSTOM, CEPE/CNRS, Montpellier, 292 p.
- CHEVALIER (P.), 1982. — Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XIX n° 4, pp. 253-297.
- ESCADAFAL (R.), 1989. — Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Coll. Etudes et Thèses. Ed. ORSTOM, Paris, 1989, 313 p.
- FLORET (Ch.), PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 150, Paris, 544 p.
- FLORET (Ch.) et PONTANIER, (R.), 1984. — Aridité climatique, aridité édaphique. Bull.Soc.Bot.Fr., 131, Actual. Bot., 1984 (2/3/4) : 265-275.
- HILLEL (D.), 1974. — L'eau et le sol. Principes et processus physiques. VANDER, 288 p.
- MASSE (D.), DONFACK (P.), OUMAR (H.), SEINY-BOUKAR (L.), TCHEUFFA P., 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989. IRA/CEE, 58 p. + annexe.
- MARTIN (D.), 1963. — Carte pédologique du Nord-Cameroun. Feuille KAELE à 1/100 000. IRCAM-ORSTOM, Paris. 100 p. multigr. + 1 carte couleur h.t.
- PHILIPS (J.R.), 1966. — Plant water relations. Some physical aspects. Ann. Rev. Plant. Physiol. 17 : 245-268.
- PONTANIER (R.), MOUKOURI-KUOH (H.), SAYOL (R.), SEINY-BOUKAR (L.), THEBE (B.), 1985. — Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sols des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. Journées Hydrologiques de Montpellier. Colloques et Séminaires ORSTOM : 165-189.
- SEGHIERI (J.), 1990. — Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse USTL, Univ. Montpellier II, 200 p.
- SEINY-BOUKAR (L.), 1990. — Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse doctorat 3ème cycle, Univ. Yaoundé, 226 p. annexe.
- THEBE (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun, bassin versant de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse USTL, Montpellier, 306 p.
- TREVISAN (D.), 1986. — Comportement hydrique et susceptibilité à l'érosion des sols limoneux cultivés. Thèses Université d'Orléans, 244 p.
- VALENTIN (Ch.), 1978. — Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'érodibilité des sols. Actes du colloque « Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen ». Strasbourg, INRA, pp. 117-122.