

8

Réhabilitation de vertisols dégradés (sols *hardés*) au Nord-Cameroun

D. MASSE ¹, P. DONFACK ², C. FLORET ³,
R. PONTANIER ⁴, L. SEINY-BOUKAR ²

1. ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal

2. ORSTOM, IRA, BP 33, Maroua, Cameroun

3. CNRS/CEFE, Montpellier, France

4. ORSTOM, BP 434, 1004 El Menzah, Tunisie

Cette étude concerne l'amélioration du régime hydrique d'un faciès de dégradation très accentuée des vertisols en vue de leur réhabilitation en zone soudano-sahélienne camerounaise.

Beaucoup d'auteurs ont noté la grande sensibilité des vertisols à la dégradation et à l'érosion non seulement en Afrique [1], mais aussi sous d'autres continents, comme en Inde [2] ou en Australie [3].

Au Cameroun, les phénomènes de dégradation des vertisols se caractérisent par la déstructuration de l'épipédon en relation avec la baisse de leur teneur en matière organique, la généralisation des pellicules de battance et la disparition de leurs fentes de retrait [4, 5]. Le résultat final est un fort dysfonctionnement du régime hydrique (pertes importantes par ruissellement, diminution des capacités d'emmagasinement de l'eau de pluies), qui génère l'augmentation du stress hydrique pour la végétation (raccourcissement de la durée et diminution de la disponibilité en eau pour la plante). Cette dégradation des sols contribue donc à terme à la détérioration biologique de l'écosystème et à la baisse de fertilité du milieu [6].

Différents stades de dégradation des vertisols ont été mis en évidence. Le terme *hardé* désigne le faciès de terres aux propriétés physico-hydriques les plus défavorables. Ces

terres ne sont généralement plus cultivées et ne conservent qu'un usage essentiellement pastoral et éventuellement de production de bois. Cependant, la pression démographique et le besoin en terre de culture obligent les paysans à réexploiter ces sols pour une production de sorgho de contre-saison [7], ce qui nécessite les actions de réhabilitation de ces vertisols excessivement dégradés [8, 9].

L'aménagement, l'utilisation et la conservation des vertisols ont fait l'objet de nombreux travaux. Yule [3] ainsi que Mitchell [10] considèrent que la mise en culture doit obligatoirement s'accompagner d'un contrôle du ruissellement par des techniques culturelles appropriées. Au Nord-Cameroun, Seiny-Boukar *et al.* [11] considèrent que "l'amélioration de l'efficacité des pluies dans la recharge hydrique des vertisols dégradés est indispensable non seulement pour la régénération du milieu naturel, mais aussi pour une réhabilitation à usage agricole des terres abandonnées par les paysans". L'amélioration de leur régime hydrique passe par la limitation des pertes en eau par ruissellement, et surtout par l'augmentation des quantités d'eau "infiltrables", le but étant de régulariser les disponibilités en eau pour les plantes.

Les sols *hardés*, en vue de leur réactivation biologique, doivent donc faire l'objet, dans un premier temps, d'une tentative de remise en fonctionnement hydrique. C'est pour cela que l'augmentation des réserves en eau du sol, liée à une amélioration de la structure et de la porosité, doit être concomitante à une augmentation des teneurs en matière organique, pour redonner à ces sols des statuts leur permettant d'assurer une production agropastorale durable. Différentes interventions ont été testées en parcelles d'expérimentation ; des petits aménagements hydro-agricoles et des pratiques culturelles réalisables par le paysan ont été privilégiés. Le suivi des réserves hydriques du sol a permis d'évaluer leur impact sur le fonctionnement hydrique. Les résultats présentés dans ce travail concernent quatre années d'observations.

Matériels et méthodes

Les sites étudiés

La zone d'étude se situe dans la province de l'extrême-nord du Cameroun, approximativement entre le 10^e et le 13^e parallèle Nord. Cette région est dominée par un climat de type soudano-sahélien. La pluviosité moyenne sur les quarante dernières années est d'environ 800 mm, répartie sur 7 mois (de mai à octobre). Si la classe des sols à sesquioxides est considérée comme le faciès climatique régional, ceux-ci n'occupent pas les surfaces les plus importantes [12]. Des conditions spécifiques locales de stations (mauvais drainages et argiles noires du bassin fluvio-lacustre du lac Tchad) ont permis une pédogenèse orientée vers des vertisols [13]. Les principales formes de végétation rencontrées sont des steppes à épineux et des prairies périodiquement inondées.

Les parcelles d'expérimentation ont été installées sur le bassin versant du mayo Mouda, où les vertisols dégradés abondent, à 40 km de la ville de Maroua. Le site choisi est caractéristique des sols *hardés* de la région [5].

En fin de saison sèche, l'aspect de surface des sols *hardés* est une juxtaposition de taches claires et sombres. Les tâches sombres correspondent aux zones de développement de la végétation ; on y note la présence d'une graminée pérenne *Sporobolus festinus*. Les

ligneux présents sont, entre autres, *Lanea humilis* et *Dychrostachys glomerata*. Les taches claires sont des zones sans végétation. Le profil pédologique est caractérisé par un horizon superficiel sablo-argileux massif et compact, recouvert d'une épaisse pellicule de battance. Cet horizon, épais de 5 à 20 cm et très compact, recouvre, souvent par un contact planique, un horizon sous-jacent argileux et vertique présentant en profondeur des nodules calcaires.

Les aménagements testés

Pour favoriser l'infiltration de l'eau et assurer des conditions d'une réactivation biologique, trois types d'aménagements ont été testés [14] : le *pitting*, les bandes alternées et le *microcatchment* (Figure 1).

Pour le *pitting* ou trouaison, le ruissellement est capté dans des trous confectionnés à la surface du sol. D'une profondeur de 0,15 m, de 1 m de longueur et de 0,30 m de largeur, ces mini-fosses sont disposées, perpendiculairement à la pente, en quinconce sur des lignes séparées de 1 m. La terre excavée est placée en tas sur le bord aval du trou.

Les bandes alternées et le *microcatchment* sont basés sur l'alternance d'une bande labourée, où l'on détruit la croûte de battance par un travail du sol, et d'une bande non labourée située en amont de la précédente ; celle-ci joue le rôle d'impluvium et de collecteur pour la partie aval. La différence entre les traitements bandes alternées et *microcatchment* consiste en l'édification pour ce dernier d'une diguette sur le front aval de la bande labourée, afin d'éviter un ruissellement éventuel au-delà de cette bande.

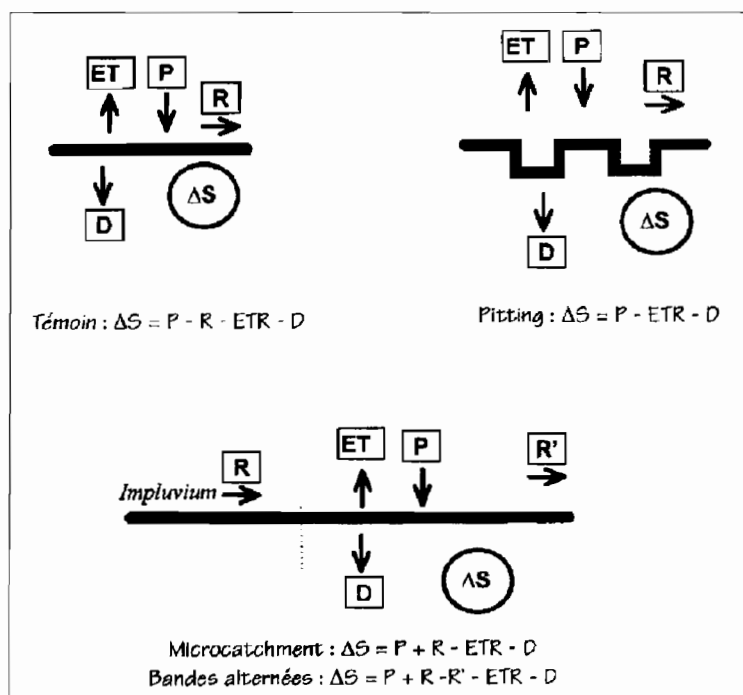


Figure 1. Principes schématiques des différents traitements testés pour la réhabilitation. (ΔS = variation de stock hydrique du sol, P = pluviométrie, R = ruissellement, ETR = évapotranspiration réelle, D = drainage).

Dispositif expérimental

Les parcelles élémentaires sur lesquelles sont appliqués les traitements mesurent 15 m de large et 30 m de long. Pour les traitements *microcatchment* et bandes alternées, la parcelle élémentaire comprend donc trois couples impluvium-bande labourée. Tous les traitements sont comparés à une parcelle témoin sans aménagement particulier. L'ensemble est répété une fois. Il y a donc deux blocs de 4 parcelles de 450 m² chacune. L'expérimentation a été mise en place en mai et juin 1989 [14].

Le suivi hydrique des sols a été réalisé par des mesures d'humidité du sol par sonde à neutrons [14]. Sur les sols *hardés*, le tube d'accès sur le traitement *pitting*, est placé à 50 cm à l'amont du trou et entre deux trous. Sur les traitements *microcatchment* et bandes alternées, un tube est placé au milieu de la bande labourée, un autre sur l'impluvium correspondant. Au cours de la saison des pluies, la périodicité des mesures a été de 6 à 8 jours, sans qu'il soit tenu compte des événements pluviométriques. En saison sèche, les mesures ont été réalisées tous les 15 jours puis tous les mois à partir du mois de février.

A côté du suivi hydrique des sols, le comportement de la végétation spontanée des sols *hardés* a été observé. La méthode utilisée est celle des points quadrats. Cette méthode permet de caractériser la composition floristique et de quantifier le recouvrement d'une végétation, en mesurant la fréquence de toutes les espèces recensées, et en exprimant, en particulier, cette fréquence en termes de recouvrement. Le suivi a consisté en l'observation de 100 points le long d'une ligne de 10 m, matérialisée par un fil tendu au-dessus de la végétation, sur chaque parcelle et en distinguant bande labourée et impluvium. Ce suivi a été effectué sur les mêmes emplacements, au rythme de trois mesures par an (juillet, août et septembre). Sur le *pitting*, étant donné l'hétérogénéité du milieu liée à la présence rapprochée des trous à la surface du sol, le suivi a concerné également les modifications qualitatives de la végétation ; la longueur des lignes est ici de 20 m pour 100 points de lecture.

Enfin, des analyses de sols ont été réalisées, au terme des quatre années, pour évaluer les modifications concernant les taux de carbone et azote total.

Résultats

Amélioration du régime hydrique

La Figure 2 présente les courbes comparatives d'évolution des réserves hydriques des tranches 0-50 cm, 50-100 cm du sol pour les différents traitements. Pendant toute la saison des pluies, la tranche de sol comprise entre 50 et 100 cm présente peu de variations de réserve pour les 3 types d'aménagement.

Les réserves mesurées sont significativement différentes entre les traitements bandes alternées et *microcatchment*, d'une part, et les traitements *pitting* et témoin, d'autre part. De même, une différence significative apparaît entre les traitements *microcatchment* et bandes alternées pour certaines années, notamment en 1990 et 1991.

La Figure 3 présente le calcul d'un indice de stockage de l'eau. Cet indice est défini en divisant, sur une période de temps donné, le cumul des réserves hydriques totales

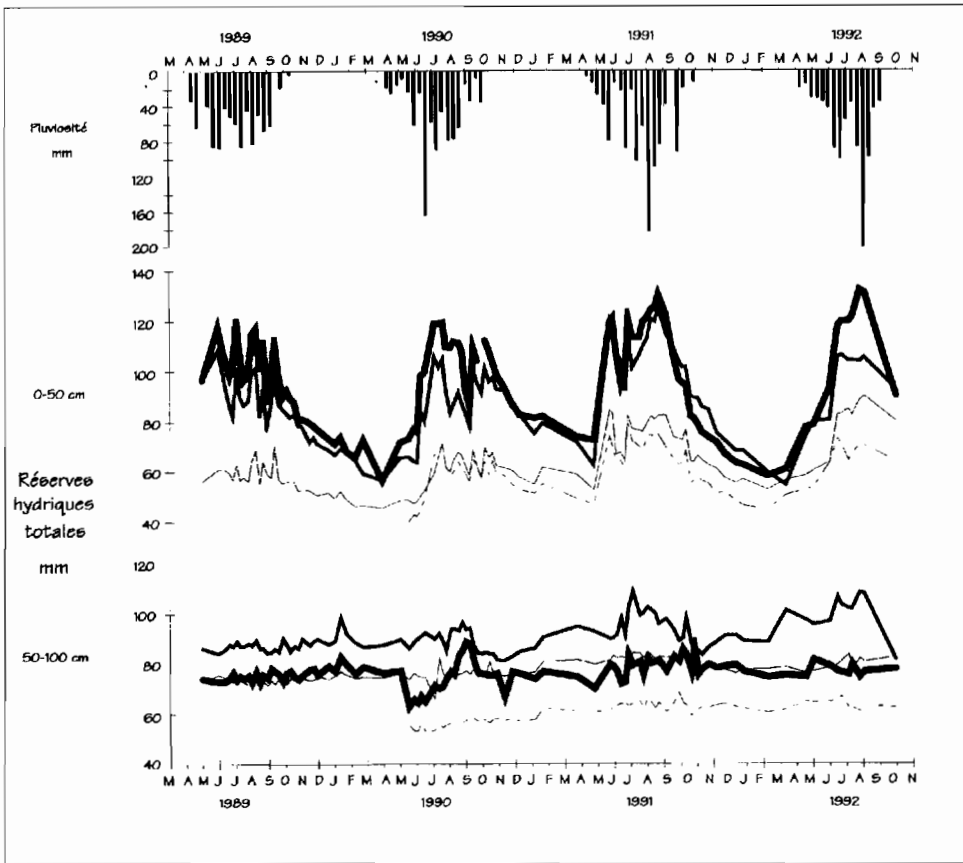


Figure 2. Évolution des réserves hydriques totales sur les sols *hardés* pour les différents aménagements : le *microcatchment* (—), les bandes alternées (—), le *pitting* (---), le témoin (· · ·).

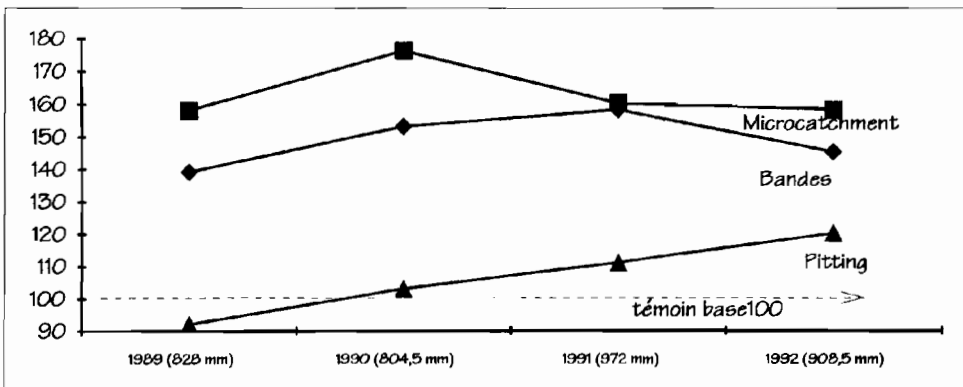


Figure 3. Évolution de l'indice de stockage de l'eau pour les différents aménagements sur sols *hardés*.

mesurées sur un aménagement par le cumul des réserves hydriques totales mesurées sur la parcelle témoin.

Les indices sont élevés dès la première année de mise en place des aménagements *microcatchment* et bandes alternées. L'efficacité de stockage augmente ensuite légèrement mais a tendance à se stabiliser par la suite, voire à diminuer à partir de 1992. La mise en réserve de l'eau est supérieure par rapport au témoin de 58 % à 76 % pour les traitements *microcatchment*, de 39 % à 58 % pour le traitement bandes alternées. Par contre, le *pitting* n'apporte pratiquement aucune amélioration du stockage de l'eau les deux premières années (le tube d'accès de sonde à neutrons est placé à 50 cm de la bordure amont d'un trou). Puis, l'indice de stockage augmente régulièrement pour atteindre 120 (témoin base 100) : ceci est nettement marqué par la croissance d'une auréole d'humidité autour du trou.

Évolution du couvert végétal

Les relevés de végétation révèlent une influence du labour pour les traitements *microcatchment* et bandes alternées sur le recouvrement global des espèces et la composition spécifique ; ce qui concorde avec les résultats concernant le régime hydrique des sols.

Quand il s'agit du nombre d'espèces, on assiste à une augmentation les trois premières années (Figure 4). En 1992, il apparaît cependant un fléchissement de l'apparition de nouvelles espèces voire une diminution de la richesse floristique (Figure 4). Le traitement témoin présente une amélioration constante de la richesse floristique au cours du temps jusqu'en 1992 ; ceci indiquerait l'effet de la protection totale contre le pâturage.

La Figure 5 présente les contributions spécifiques de présence des principales espèces. Sur les bandes labourées des traitements bandes alternées et *microcatchment*, la CSP de *Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis* et *Sporobolus festivus* diminue fortement. Par contre, celle des espèces comme *Panicum laetum* ou *Brachiaria xantholeuca* augmente régulièrement. Sur l'impluvium de ce même traitement, on note le comportement contraire avec une prédominance des trois premières espèces (*Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis* et *Sporobolus festivus*) qui, à elles seules, représentent près de 75 % du couvert végétal, comme sur le témoin. Le labour modifie profondément la composition floristique

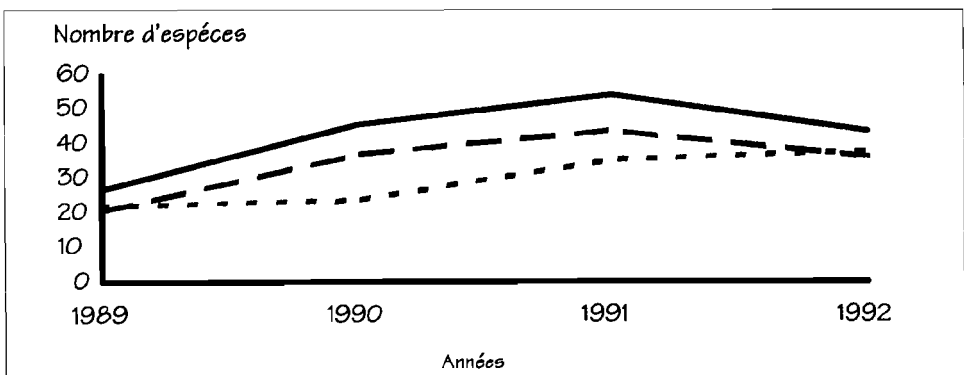


Figure 4. Évolution du nombre d'espèces végétales sur les différents traitements.

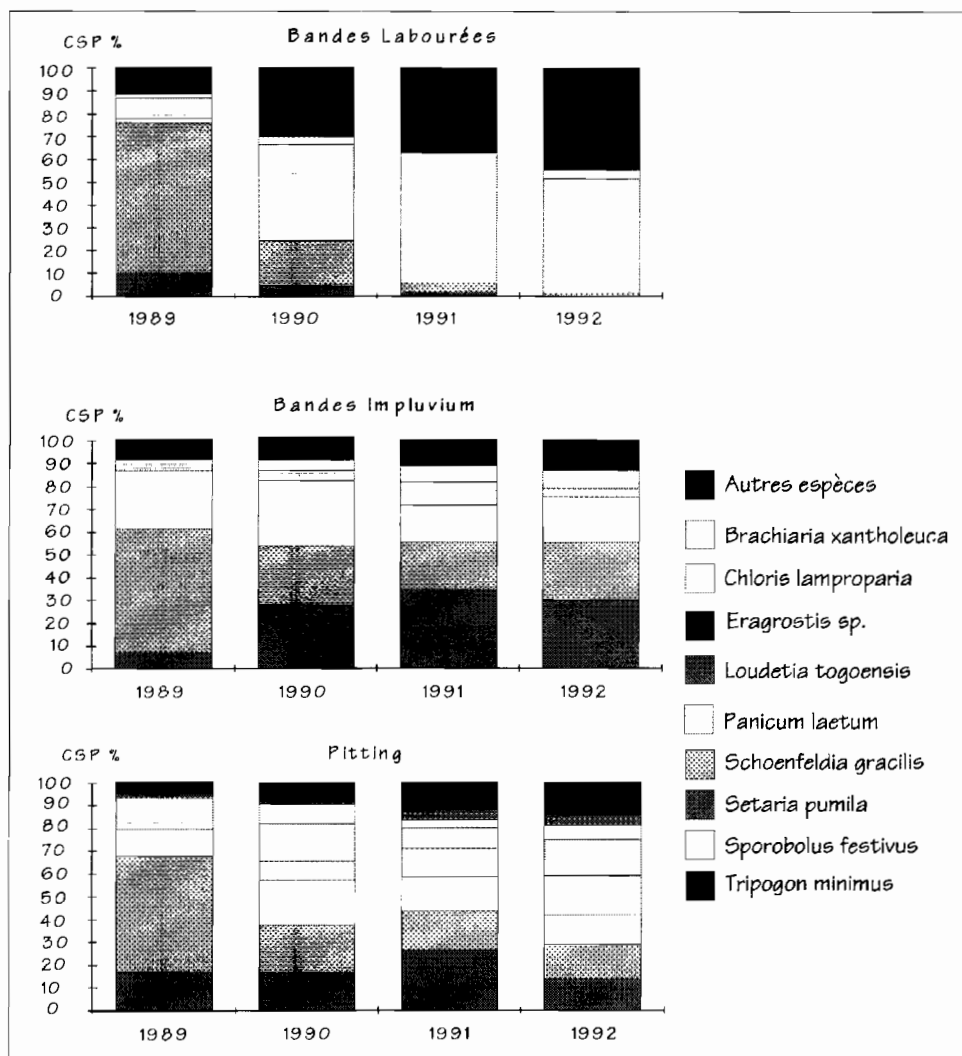


Figure 5. Recouvrements spécifiques pour les principales espèces sur sols hardés.

avec une moindre importance des espèces propres aux sols *hardés* ; il favorise des espèces qui se comportent bien sur des sols régulièrement remaniés (*Panicum laetum*, *Brachiaria xantholeuca*), ou des milieux à pédoclimat humide comme *Setaria pumila*.

Sur le traitement *pitting*, on observe une modification moins radicale de la composition floristique et des contributions spécifiques de présence. Cependant, à *Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Sporobolus festivus* et *Tripogon minimus*, principales espèces du *hardé* non aménagé s'ajoutent sur le *pitting* des espèces telles que *Brachiaria xantholeuca*, *Panicum laetum*, et dans une moindre mesure *Setaria pumila* qui contribuent fortement au couvert herbacé. En 1992, les espèces principales (*Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Sporobolus festivus*, *Brachiaria xantholeuca* et *Panicum laetum*) ont

des CSP équivalentes (Figure 5). Ces observations indiquent une juxtaposition de milieux pédoclimatiques différents, sec et humide. Cette hétérogénéité se traduit par des auréoles de végétation autour des trous, qui semblent progresser chaque année. A noter que quatre ans de protection n'ont pas été suffisants pour voir une végétation ligneuse germer et se réinstaller.

Évolution de la matière organique

Dans le Tableau I ont été portés les résultats d'analyse concernant l'évolution de la matière organique des horizons de surface. Ces mesures ont été effectuées en fin d'expérience (1992). Elles concernent le carbone total et l'azote total.

Tableau I. Carbone total et azote total sur les sols *hardés* après quatre années d'expérimentation de réhabilitation.

Traitement	Carbone total (‰)		Azote total (‰)	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
FP	13.71 a	7.86 a	1.113 a	0.67 b
SP	8.17 b	6.77 a	0.69 b	0.60 b
IB	8.57 b	7.68 a	0.76 b	0.58 b
LB	8.26 b	8.02 a	0.63 b	0.63 b
HT	8.14 b	7.97 a	0.83 b	0.79 a
H1	5.08 c	5.56 b	0.37 c	0.41 c
Test F	++	++	++	++

FP : Fond pitting ; SP : Surface pitting ; IB : Bandes alternées impluvium ; LB : Bandes alternées Labour ; HT : Témoin expérimentation (protégé) ; H1 : Témoin hors expérimentation.

a, b, c : désignation des groupes de moyennes d'après le test de Newmanns et Keuls

Il ressort que :

- dans le fond des "pits", il y a une augmentation très significative des stocks de matière organique, cela étant lié à une plus forte biomasse sur pied, et surtout à un piégeage des résidus organiques ;

- les autres traitements améliorent sensiblement le statut organique sans que l'on puisse dire si cette amélioration est plutôt liée à la mise en défens (amélioration du témoin dans l'expérimentation HT seul) qu'aux aménagements hydrauliques et aux façons culturales (FP, SP, IB, LB, et HT) ;

- dans tous les cas, les traitements avec mise en défens, et la mise en défens seule (HT), apportent, par rapport au témoin hors parcelle mis en défens (H1) régulièrement surpâturé et brûlé, une amélioration moyenne en ce qui concerne les teneurs en carbone total. Cette augmentation va du double (fond de *pitting*) à 45 % dans le cas de la mise en défens seule. L'amélioration est moins sensible en ce qui concerne l'azote ;

- l'amélioration est plus nette en surface (0-5 cm) et bien moins significative entre 5 et 15 cm. D'ailleurs, il semble que, dans les témoins hors parcelle, la dégradation, tout comme l'amélioration du statut organique, touche d'abord le haut de l'épipédon (0-5 cm) ;
- les résidus organiques s'humifient et se minéralisent très vite ; le rapport C/N dans tous les cas est stabilisé entre 10,5 et 13,5.

Discussions

Les différents aménagements testés ont montré une efficacité différente en ce qui concerne l'amélioration du régime hydrique. L'augmentation de la profondeur d'humectation de 20 cm jusqu'à 40 cm de profondeur est cependant très nette pour les aménagements *microcatchment* et bandes alternées. L'amélioration des réserves hydriques totales semble principalement obtenue grâce au travail du sol ; la faiblesse des conductivités hydrauliques dans les horizons sous-cultureux limite l'efficacité des apports d'eau supplémentaires à partir d'un impluvium. Par ailleurs, le traitement *microcatchment* montre une efficacité marquée par rapport au traitement bandes alternées, grâce à des pertes par ruissellement moins importantes au-delà de la bande labourée. Le *pitting* est caractérisé par une humectation du profil, limitée à la proximité du trou. Cet aménagement provoque donc une forte hétérogénéité dans le comportement hydrique global de la parcelle. Les teneurs en matière organique sur les bandes labourées n'augmentent pas significativement. Malgré une augmentation notable de la biomasse produite, les apports par la végétation naturelle enfouie par des labours successifs ne sont pas suffisants pour provoquer un changement dans le statut organique du sol.

Au bout de quatre années, l'amélioration des disponibilités en eau est encore relativement faible ; elle ne pourrait que difficilement permettre une mise en culture de ces sols. En dehors de la macroporosité fissurale, qui caractérise des vertisols peu ou pas dégradés, ces sols présentent des conductivités hydrauliques faibles, limitant considérablement les vitesses de circulation de l'eau. Les stagnations d'eau en surface tant sur le *pitting* que sur les traitements *microcatchment* et bandes alternées le montrent très nettement.

L'amélioration durable du régime hydrique général du sol est conditionnée par l'activation d'un réseau fissural. Après ces quatre années d'expérimentation, l'acquisition d'un réseau fissural ne semble pas évidente ; l'observation des horizons supérieurs n'a pas révélé, en saison sèche, la présence de fissuration très nette, sauf pour le traitement *pitting*. Au bout de ces quatre années, on observe une reprise nette de la macroporosité fissurale en auréole autour des trous, ainsi qu'une reprise de l'activité biologique dans le sol (galeries dans l'horizon de surface liées à la macrofaune). L'augmentation de l'humidité volumique, observée pour ces traitements, a permis d'élever les réserves hydriques disponibles pour la végétation. Sur les autres traitements, les variations de teneur en eau, obtenues par humectation, ne sont pas suffisantes pour créer les mouvements de retrait et de gonflement susceptibles de provoquer une macroporosité fissurale dans les matériaux vertiques.

Ces phénomènes de retrait et de gonflement des argiles sont en étroite relation avec des propriétés liées au sol (caractéristiques minéralogiques, chimiques et structurales des argiles présentes), mais aussi avec d'autres caractéristiques telles que le climat et l'histoi-

re des stress d'origine climatique, la topographie, la végétation et les systèmes de culture pratiqués sur ces sols [15].

Conclusion

Les actions testées ont confirmé le rôle clé joué par le fonctionnement hydrique de ces sols. L'expérimentation de pratiques de réhabilitation a montré les limites des connaissances concernant les processus de dégradation des vertisols ; il convient d'établir plus précisément les potentialités de réhumectation de ces sols. On peut se demander si, suite à une surexploitation, les caractéristiques structurales des argiles autrefois gonflantes n'ont pas été altérées. Un seuil d'irréversibilité aurait été atteint (Le Houérou, 1968) [8, 9]. La réactivation complète du cycle de l'eau qui prévalait autrefois ne serait plus possible, quelles que soient les pratiques de réhabilitation envisagées.

Références

1. Virmani S.M. (1988). Agroclimatology of the vertisols and vertic soil areas of Africa. In : Jutzi S.C., Haque I., MacIntire J., Stares J.E.S., eds. *Management of vertisols in Sub-Saharan Africa*. Ilca, Addis-Ababa, Ethiopia : 45-63.
2. Swindale L.D. (1988). Developing, testing and transferring improved vertisol technology : the Indian experience. In : Jutzi S.C., Haque I., MacIntire J., Stares J.E.S., eds. *Management of vertisols in Sub-saharan Africa*. Ilca, Addis-Ababa, Ethiopia.
3. Yule D.F. (1987). Water management of vertisols in the semi-arid tropics. In : Latham M., Ahn P., Elliott C.R., eds. *Management of vertisols under semi-arid conditions*. IBSRAM, Proceedings n°6, Bangkok, Thailand : 107-123.
4. Gavaud M. (1971) Les sols *hardés* du Nord-Cameroun (sols halomorphes, sols lessivés, planosols, sols hydromorphes). Mise au point bibliographique. Bull Liais thème B, 1971. ORSTOM, Paris, 2 : 55-88.
5. Seiny-Boukar L. (1990). Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse de 3^e cycle. Université de Yaoundé (226 p).
6. Seiny-Boukar L., Pontanier R. (1993). Hydrodynamique d'un sol *hardé* du Nord-Cameroun. Caractéristiques et comportement. In : *Les terres hardées. Caractérisation et réhabilitation dans le bassin du lac Tchad*. Cahiers Scientifiques n°11 : 29-36 ; Supplément de Bois et Forêts des tropiques, Mémoires et travaux de l'IRA n°6.
7. Seignobos C. (1993). *Hardé et Karal* du Nord Cameroun ; leur perception agro-pastorale par les populations du Diamaré. *Bois et Forêts des Tropiques, Cahiers scientifiques* ; 11 : 65-70.
8. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology* ; 1 : 1-10.
9. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semi-arid lands. II. Case studies in Southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology* ; 1(3) : 168-187.
10. Mitchell A.J.B. (1987). Management problems of cotton on vertisols in the lower shire valley of Malawi. In : Latham M., Ahn P., Elliott C.R., eds. *Management of vertisols under semi-arid conditions*. IBSRAM, Proceedings n° 6, Bangkok, Thailand : 221-229.

11. Seiny-Boukar L., Floret C., Pontanier R. (1991). Plant-soil-water relationships in a Sahelo-soudanian savannah : the case of vertisols in Northern Cameroon. *Can J Soil Sci* ; 72 : 481-488.
12. Humbel F.X. (1965). Étude des sols halomorphes du Nord-Cameroun (Maroua). Transformation des *hardés* par sous-solage et culture du cotonnier. Rapport centre ORSTOM Yaoundé, Cameroun (146 p).
13. Brabant P., Gavaud M. (1985). Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. Coll. cartes et notice explicative n° 103. Ed. ORSTOM, MESRES-IRA Yaoundé, ORSTOM Paris (285 p).
14. CEE (1993). Réhabilitation et utilisation des terres marginales au Nord-Cameroun. Rapport final. Contrat CEE/DGXII TS20077M(CD). IRA, Maroua, Cameroun (116 p).
15. Wilding L.P., Tessier D. (1988). Genesis of vertisols : shrink-swell phenoma. In : Wilding L.P., Puentes R., eds. *Vertisols : their distribution, properties, classification, and management*. Texas A and M, University Printing Center, College Station, Texas : 55-81.