

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DE LA VÉGÉTATION EN SAVANE SAHÉLO-SOUDANIENNE

Le cas des sols Hardé

par Josiane SEGHIÉRI, écologue, ORSTOM
et Christian FLORET, écologue, ORSTOM



Progression de la végétation herbacée et ligneuse
aux dépens des zones dénudées d'un sol Hardé.

RÉSUMÉ

La végétation du sol Hardé de Mouda comprend une strate arbus-tive très pauvre, dominée par *Dichrostachys cinerea* et *Lannea humilis*, et une strate herbacée constituée presque exclusivement par des graminées annuelles parmi lesquelles domine *Schoenefeldia gracilis*. Le recouvrement herbacé est très faible (de 5 à 8 %) et la hauteur de cette strate dépasse rarement 10 cm.

Pendant deux années, les auteurs ont mesuré les précipitations, la quantité d'eau contenue dans le sol, les températures et ils ont suivi l'évolution des ligneux et des herbacées (phénologie, recouvrement, composition floristique).

Les herbacées adaptent leur cycle de vie à la quantité d'eau disponible dans le sol. La sécheresse climatique de la région, accentuée par l'aridité édaphique du sol Hardé (ruissellement), entraîne une certaine uniformisation des phénologies. Il y a très peu d'espèces herbacées qui peuvent coloniser ce milieu (8 à Mouda) car elles doivent être capables de se fixer, de germer très rapidement et d'arriver à mobiliser les rares ressources en eau disponibles au profit de la fructification, tout en s'investissant très peu dans la production de biomasse.

Les espèces ligneuses sont beaucoup plus indépendantes vis-à-vis de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol. La plupart perdent leurs feuilles en saison sèche, pendant une durée variable suivant les espèces mais certaines, comme *Balanites aegyptiaca*, les conservent en permanence. Parmi les acacias, *Acacia senegal* fleurit en début de saison des pluies, *Acacia gerrardii* au milieu de celle-ci et *Acacia hockii*, à la fin. D'autres espèces fleurissent plusieurs fois dans l'année.

La plante ne peut photosynthétiser et fleurir en saison défavorable

que si elle a la capacité soit de stocker puis de remobiliser des réserves hydriques acquises en saison des pluies, soit d'extraire l'eau à des potentiels supérieurs à celui correspondant au $\Phi = -1,6$ mPa.

Le système racinaire de toutes les plantes est principalement concentré dans les horizons superficiels. Les graminées annuelles développent un chevelu racinaire dense dans un volume limité de sol, alors que les ligneux émettent de longues racines latérales (plus de 10 m), dont la faible densité est compensée par la pérennité qui permet le captage des premières pluies infiltrées.

Pour étudier la variation de l'évolution du recouvrement herbacé en fonction des scénarios pluviométriques, l'auteur a irrigué des carrés de 5 m² en début de saison des pluies. En première année, ceci a permis le développement d'une importante biomasse ; en deuxième année, sans aucune irrigation, le recouvrement herbacé a également été très important sur ce carré, car le paillis d'herbe morte de l'année précédente a facilité l'infiltration de l'eau, la fixation et la germination des graines. A partir de cet îlot végétalisé, le tapis herbacé recolonise progressivement le sol Hardé par un front de colonisation constitué de *Schoenefeldia gracilis*.

Sur ce type de sol, plus que sur tout autre, la répartition des pluies est plus importante que leur quantité, car le stockage d'eau est très limité. Celles-ci doivent humidifier le substrat assez longtemps pour que les phases de germination et de levée puissent s'accomplir, puis maintenir une hygrométrie de l'air au niveau du sol suffisante pour maintenir les plantules en vie. C'est pourquoi l'application de techniques visant à limiter le ruissellement des pluies et à améliorer l'infiltrabilité du sol devrait permettre de réhabiliter ces milieux.

ABSTRACT

The vegetation of the Mouda Hardé soils is composed of a very poor shrubby strata dominated by *Dichrostachys cinerea* and *Lannea humilis*, and a herbaceous strata which is almost exclusively made up of annual grasses, among the dominant ones of which is *Schoenefeldia gracilis*. Herbaceous vegetation cover is very small (5 to 8%), and the height of this strata is rarely above 10 cm.

For a period of two years, the authors measured the rainfall, water content of the soil, and temperature. They also followed up the evolution of woody trees and the herbaceous vegetation (phenology, vegetation cover, floristic composition).

Herbaceous plants adapt their life cycle to the available quantity of water in the soil. The drought condition of the region, accentuated by the aridity of the Hardé soils calls for a certain harmonization of phenologies. There are very few herbaceous species which will colonize this environment (8 at Mouda), because species must be able to germinate rapidly and to mobilize and utilize the scarce available water resources in favour of reproduction at the expense of biomass production.

Woody species are much more independent as far as the period of water availability in the soil is concerned. Most of them lose their leaves in the dry season, during a specific period which varies with species, but others like *Balanites aegyptiaca* keep their leaves. Among the acacias, *Acacia senegal* produces flowers at the beginning of the rainy season, *Acacia gerrardii* in the middle of the rainy season, and *Acacia hockii* at the end of the season. Other species flower several times in course of the years.

The possibility for the processes of photosynthesis and flowering to take place during an unfavourable season implies the existence of the

means, either to store and reuse water reserves obtained in the rainy season, or to extract water from superior potentials to that corresponding to PF_{4.2}.

The root system of all the plant species is essentially concentrated in the upper level horizons. Annual gramineae develop a root system network which is concentrated in a limited soil volume, while woody plants send out long lateral roots (more than 10 m), the sparse density of which is compensated for by the perenity of the roots, which allow for the capture of infiltrated water of the first rains.

To study the variation in surface colonization by herbaceous plants, taking into consideration the pluviometric scenario, the author irrigated areas of 5 m² at the beginning of the rainy season. In the first year, this permitted the development of an important biomass. In the second year, and without further irrigation, surface recolonization of the squares by herbaceous vegetation was very significant because the mulch from the dead vegetation of the previous year facilitated the infiltration of water and hence the establishment and germination of seeds. The Hardé soil progressively becomes recolonized by *Schoenefeldia gracilis* from the initial colonized spot.

Rainfall repartition is more important than quantity on this type of soil than on any other type because water storage possibilities are very limited. These soils must be humidified for a long time before germination and growth of seeds can take place. For the germinated seeds to survive, the atmospheric humidity must also be maintained at a minimum level. This is why the use of techniques which aim at limiting rainfall runoff and at improving soil infiltration potentials ought to make it possible to rehabilitate these environments.

Malgré une pluviosité annuelle de 800 mm par an, répartie de juin à octobre dans le secteur sahélo-soudanien du Nord-Cameroun (LETOUZEY, 1985), la végétation sur sol Hardé bénéficie de beaucoup moins d'eau disponible que celle sur vertisols en bon état.

En effet, la surface du sol Hardé se caractérise par la présence d'une pellicule de battance généralisée de quelques millimètres d'épaisseur, qui diminue considérablement la perméabilité du sol (CASENAVE, VALENTIN, 1987). Elle entraîne un ruissellement important des précipitations et une forte évaporation du sol. L'analyse du comportement saisonnier de la végétation sur ce type de sol très particulier, issu de la surexploitation par l'homme, constitue un complément intéressant aux études hydrologiques et pédologiques de ces milieux. En effet, l'analyse phénologique permet d'établir les schémas d'utilisation par les plantes du flux hydrique qui les alimente ; les périodes d'activité de la végétation sont celles pendant lesquelles l'eau lui est accessible. Comment les plantes répondent-elles localement sur ce type de milieu à des disponibilités hydriques aussi faibles et utilisables pendant aussi peu de temps ?

MILIEU ET MÉTHODES UTILISÉES

Le sol Hardé considéré ici fait partie de la séquence de dégradation du vertisol modal du bassin versant de Mouda, qui se situe à 30 km au sud de Maroua au Cameroun (cf. CCE, 1988 ; SEINY-BOUKAR, 1990 ; SEGHIÉRI, 1990). La profondeur sur laquelle se manifestent les phénomènes de dégradation atteint principalement les vingt premiers centimètres. Ils se traduisent par une forte baisse de la teneur en matière organique, de la capacité d'échange cationique et du taux d'argile, ainsi que par l'acidification du substrat. L'eau infiltrée ne représente que 20 à 50 % de la pluie (THEBE, 1987). Si la réserve utile (R.U.) est faible en surface (R.U. = 7,5 mm sur les 10 premiers centimètres), le niveau argileux vertique, qui apparaît dès 15-20 cm de profondeur, confère au profil une meilleure capacité de rétention de l'eau en profondeur (R.U. = 60 mm sur les 40 premiers centimètres) (PONTANIER *et al*, 1985).

La végétation est typique des sols Hardé de la région, avec deux strates :

- **Une strate arbustive**, dominée par *Dichrostachys cinerea* et *Lannea humilis*, auxquelles s'ajoutent

Balanites aegyptiaca, *Capparis ssp.*, *Cissus quadrangularis* et plusieurs espèces d'acacia dont les plus communes sont *Acacia gerrardii* et *Acacia senegal*.

- **Une strate herbacée**, constituée presque exclusivement d'espèces annuelles graminéennes ; elle est dominée par *Schoenefeldia gracilis*, *Microchloa indica* et *Aristida hordeacea*. En début de saison des pluies, une Liliacée, plante à bulbe, se répand en abondance par plages et fleurit rapidement ; il s'agit de *Drimiopsis cf. barteri*. Le recouvrement herbacé moyen est très faible (de 5 à 8 %) et tout à fait hétérogène ; la hauteur de la strate herbacée dépasse rarement 10 cm. Le stock de graines viables du sol n'est pas négligeable mais semble inexistant au-delà de 10 cm de profondeur (cf. tableau, p. 58). *Schoenefeldia gracilis* domine également sous forme de semences. L'absence de *Microchloa indica* et d'*Aristida hordeacea* dans le stock n'est pas significative car les conditions de germination, dans lesquelles les échantillons de sol prélevés ont été mis, n'étaient vraisemblablement pas favorables à ces deux espèces.

**Stock de graines du sol Hardé
en zone de sol nu et en zone de végétation
Nombre de graines/m² (SEGHIERI, 1990)**

Strate Espèce\profondeur (cm)		Sol nu			Végétation		
		0-5	5-10	10-15	0-5	5-10	10-15
1	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	173	36		858	4	
2	<i>Loudetia togoensis</i>	4	4		36		
3	<i>Schizachyrium exile</i>	4			40		
4	<i>Andropogon pseudapricus</i>				80		
5	<i>Finbristylis hispidula</i>				4		
6	<i>Brachiaria stigmatialis</i>	9					
7	<i>Setaria pumila</i>				13		
Total		190	40	0	1 031	4	0

L'étude a duré deux ans (1986 et 1987). La hauteur des précipitations et la quantité d'eau contenue dans le sol ont été mesurées au cours de ces deux années. Un humidimètre à neutrons (type SOLO 20) a été utilisé pour les 80 premiers centimètres de sol ; on a, de plus, utilisé la méthode pondérale dans les vingt premiers. L'eau disponible pour les plantes est, à chaque instant et pour chaque tranche de sol de 10 cm d'épaisseur, la quantité totale d'eau contenue dans le sol soustraite de la quantité d'eau contenue au point de flétrissement permanent ($\Phi = - 1,6$ mPa). Les températures et l'hygrométrie de l'air étaient mesurées de façon journalière à la station météorologique de Maroua. L'évolution de la feuillaison, de la floraison et de la fructification des principales espèces ligneuses et de toutes les espèces herbacées a été suivie d'avril 1986 à novembre 1987, pour les espèces ligneuses et, durant chacune des deux saisons des pluies, pour les espèces herbacées. L'évolution du recouvrement herbacé a également été suivi au cours de chaque saison des pluies jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur maximale.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

■ Phénologie de la végétation ligneuse et herbacée

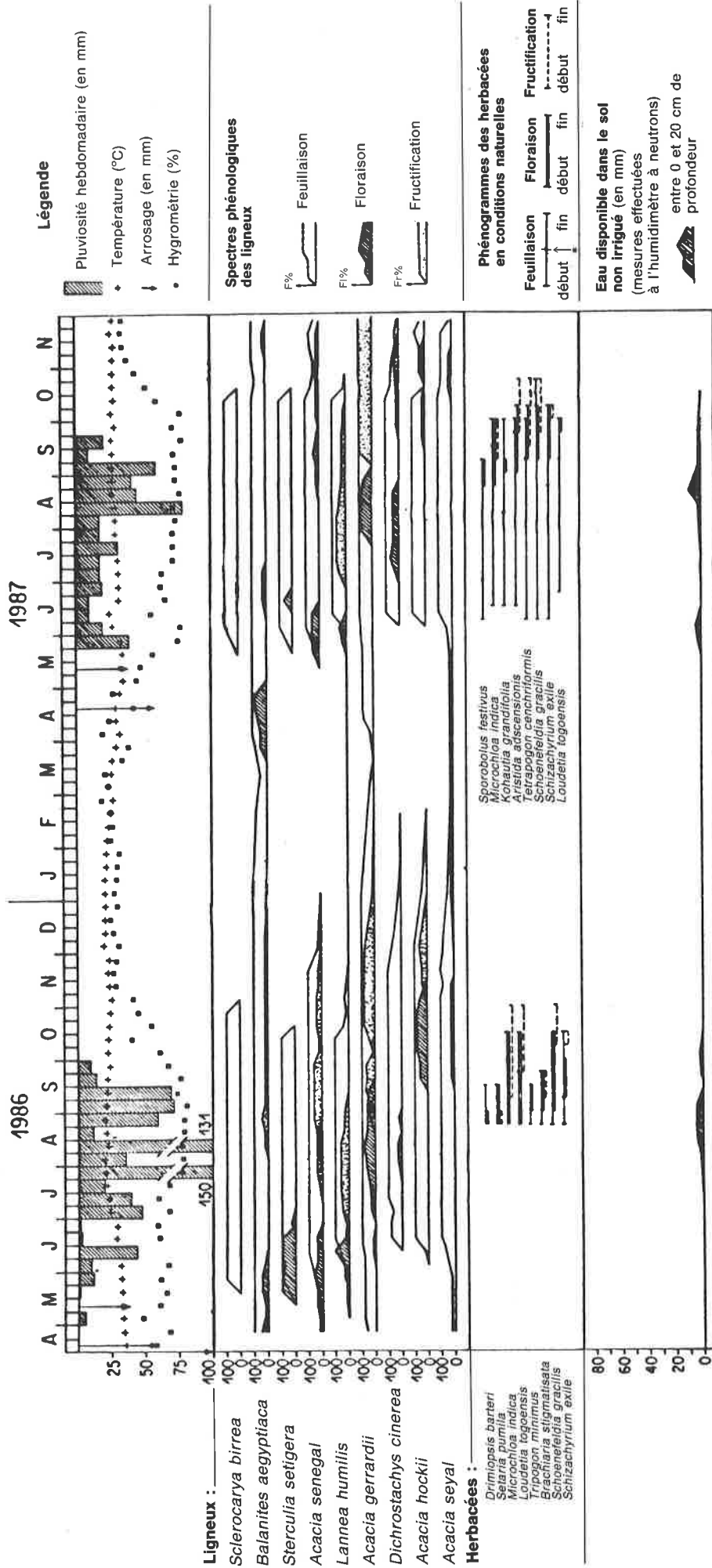
Les résultats sont présentés dans la figure 1 ci-contre. Ils montrent l'opposition entre la forte concentration de l'activité des espèces herbacées, annuelles et pérennes (*Sporobolus festivus* et *Drimiopsis barteri*) et l'étalement des phases phénologiques des espèces ligneuses.

En fait, le sol Hardé ne contient pas d'eau disponible à un potentiel supérieur à $\Phi = - 1,6$ mPa au-delà de 20 cm de profondeur. Les périodes d'activités des plantes herbacées sont très liées à celles où l'eau est disponible dans le sol, malgré les faibles quantités de cette ressource. La grande plasticité phénologique des

espèces herbacées des savanes tropicales africaines, en particulier annuelles, leur permet d'adapter leur cycle de vie aux conditions de l'environnement. A l'échelle de la communauté, cette plasticité spécifique conduit à une concentration des phases phénologiques au fur et à mesure que la durée de la période, pendant laquelle la ressource hydrique est accessible, raccourcit (FOURNIER, 1990). C'est pourquoi, lorsque le milieu se fait excessivement contraignant comme sur sol Hardé, il se dessine une uniformisation des phénologies ; on a le même phénomène en passant du sud au nord de l'aire de répartition des savanes, lorsque la saison des pluies devient de plus en plus courte. CISSE (1986) aboutit à des conclusions semblables en montrant que la redistribution des pluies par le substrat conduit à localiser des espèces à cycle long dans les dépressions, où l'eau est abondamment disponible sur une longue période, et à localiser des espèces à cycle court sur les pentes et en haut de topographie, où le ruissellement induit une grande précarité de la ressource hydrique.

De plus, sur sol Hardé, l'investissement des espèces herbacées dans la croissance est faible ; celles qui arrivent à s'installer se développent très peu (elles présentent un nanisme marqué) mais se reproduisent. Le succès de régénération de l'espèce est donc assuré par ses possibilités d'installation et son aptitude à s'appropriier les ressources disponibles au cours des stades antérieurs à la phase de reproduction. Son abondance relative au moment de la floraison détermine considérablement la quantité de graines que l'espèce produira, c'est-à-dire son potentiel d'installation pour l'année suivante. L'abondance relative de l'espèce en fin de croissance dépend, d'une part, de sa vitesse de germination et d'installation (compétitivité) et, d'autre part, de la résistance de sa population au stress hydrique. La contrainte hydrique étant très forte sur sol Hardé, et associée à l'irrégularité des pluies en début de saison (fig. 1), peu d'espèces réussissent effectivement à s'installer. On a dénombré huit espè-

FIGURE 1
Phénologie de la végétation sur sol Hardé en relation avec les principaux paramètres climatiques
(SEGHERI, 1990)



* Date après laquelle on n'observe plus de germination.

ces en 1986 et huit en 1987 sur le planosol contre 18 et 19 respectivement chaque année sur le vertisol en bon état, soit plus du double.

Les espèces ligneuses présentent, contrairement aux espèces herbacées, une indépendance beaucoup plus grande de leurs rythmes d'activité vis-à-vis de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol (fig. 1, p. 59). En effet, certaines restent en feuilles toute l'année, comme *Balanites aegyptiaca*; les autres sont dépourvues de feuillage en saison sèche, mais montrent des durées variables de cet état. Des comportements spécifiques très différents sont également observables en ce qui concerne la période de reproduction (floraison et fructification). *Sterculia setigera*, *Acacia senegal* et *Lannea humilis* fleurissent en début de saison des pluies. Pour *Acacia gerrardii* et *Dichrostachys cinerea*, la floraison est plus tardive et se situe en pleine saison des pluies, tandis qu'*Acacia hockii* et *Acacia seyal* commencent à fleurir en fin de saison des pluies. Certaines espèces enfin montrent un comportement qui peut paraître surprenant en fleurissant plusieurs fois dans l'année. Il s'agit surtout de *Balanites aegyptiaca*, mais également d'*Acacia senegal* et d'*Acacia seyal*. Cette stratégie a été constatée également par d'autres auteurs ayant travaillé en savane sèche, sur des sols moins dégradés. Par exemple, dans un secteur d'étude proche de Mouda, à Laf, NOUVELLET (1987) note l'apparition puis la disparition de fleurs en avril sur *Combretum glutinosum*. L'auteur précise que des floraisons, suivies de fructifications, ont aussi été observées en avril au Niger sur cette espèce. POUPON (1979) mentionne une deuxième floraison en janvier-février d'*Acacia senegal* en secteur sahélien au Sénégal. Sur le sol Hardé de Mouda, une fructification suivait la floraison seulement au moment où de l'eau était disponible dans le sol (fig. 1). Autrement dit, malgré une plasticité certaine de la floraison chez ces espèces ligneuses, son succès pour la reproduction sexuée (la fructification) semble dépendre fortement des conditions hydriques du milieu. Par ailleurs, la possibilité de photosynthétiser et de fleurir en saison défavorable implique l'existence de moyens, soit de stocker puis de remobiliser des réserves hydriques acquises en saison des pluies (KEMP, 1983; Seghier, 1990), soit d'extraire l'eau à des potentiels supérieurs correspondant au : $\Phi = - 1,6 \text{ mPa}$ (CHAIEB, 1989; MONROY-ATA, 1989).

Dans le sol Hardé, la faible profondeur du front d'humectation, associée à des disponibilités hydriques faibles sur de très courtes durées, suggère l'existence d'une forte concurrence entre les espèces ligneuses et herbacées. En effet, il n'y a pas de stratification des systèmes racinaires des espèces ligneuses, ni de complémentarité des couches de sol exploitées respectivement par les racines des plantes ligneuses et des plantes herbacées; elles se dévelop-



Photo 1 : En saison sèche, fixation du crochet des semences de *Schoenefeldia gracilis* dans les microfentes d'un sol Hardé.



Photo 2 : En début de saison des pluies, germination des graines de *Schoenefeldia gracilis* qui profitent de l'infiltration de l'eau au niveau des microfentes.

pent toutes dans les couches superficielles du sol (SEGHERI, 1990). En revanche, ces deux composants de la savane n'ont pas le même mode d'exploitation de la ressource hydrique. Les graminées développent un chevelu racinaire dense dans un volume limité de sol (système assez compact). De ce fait, l'absorption rapide de quantités d'eau abondantes, nécessaires à leur activité photosynthétique et à leur transpiration importante, n'est possible que si ce petit volume de sol est exploité intensément (WALTER,

1971). Les espèces ligneuses émettent au contraire, dans leur quête de l'eau, de très longues racines latérales subhorizontales qui peuvent atteindre plus de dix mètres de long (obs. pers.). Un très grand volume de sol est ainsi exploité par chaque individu. La faible densité du système est compensé par sa pérennité, qui permet le captage rapide d'une proportion importante des premières pluies infiltrées.

■ Variations de l'évolution du recouvrement herbacé en fonction des scénarios pluviométriques

Afin d'avoir deux scénarios pluviométriques supplémentaires, on a arrosé chaque année une surface circulaire de 5 m² en début de saison des pluies par deux apports : 100 mm en avril et 60 mm en mai. La technique utilisée limitait considérablement le ruissellement, contrairement aux pluies naturelles, de sorte que l'eau apportée s'est infiltrée. De plus, la perméabilité du sol a été vraisemblablement augmentée à l'endroit de l'irrigation, d'où une meilleure pénétration des pluies naturelles qui ont suivi par rapport à la surface non irriguée.

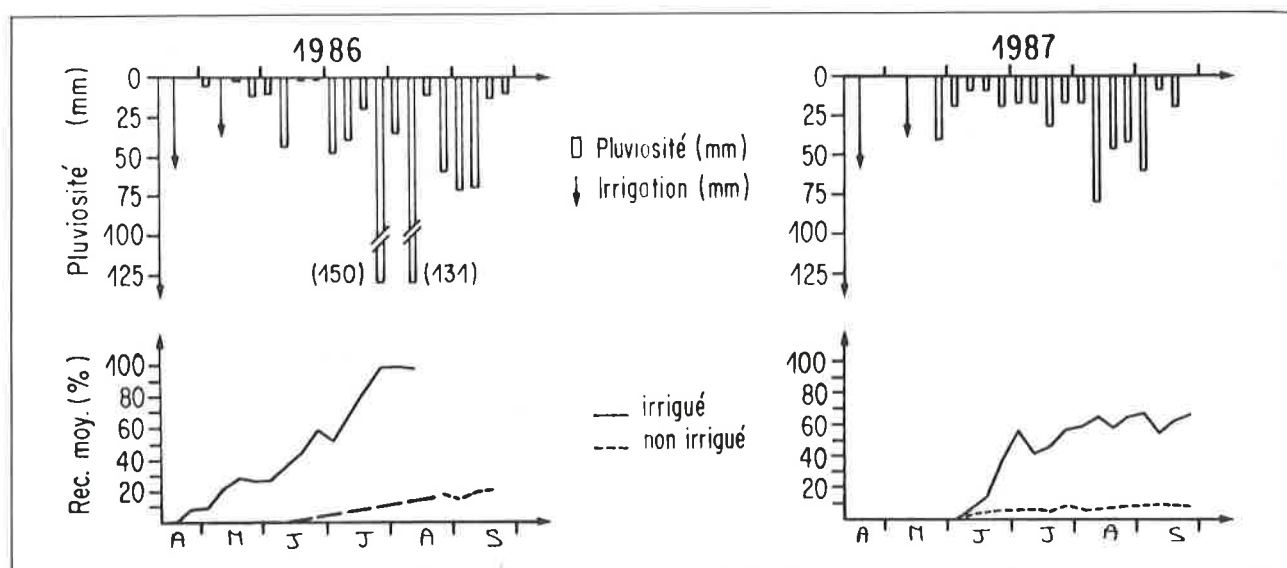
La végétation a répondu par un développement devenu, très vite, plus important sur la surface irriguée que sur celle laissée en conditions exclusivement naturelles (fig. 2). De plus, la photo 3, prise en juillet 1987, montre l'état du recouvrement sur la surface irriguée seulement en 1986 et l'état du recouvrement sur la surface irriguée l'année où a été prise la photo



Photo 3 : Surface irriguée en 1986 mais pas en 1987 (avant-plan) et surface irriguée en 1987 seulement (arrière-plan). Date de prise de vue : juillet 1987. Photo SEGHIÉRI.

(1987) : sans intervention la deuxième année, la réinstallation du tapis herbacé est donc un succès. La dynamique du système est relancée et *Schoenefeldia gracilis* constitue le front de colonisation du sol nu à partir du cercle arrosé (photo 4, p. 62). Cette espèce fait partie à la fois des espèces résiduelles de la succession régressive, engendrée par la dégradation du vertisol, et des espèces pionnières de la succession progressive secondaire, susceptible de s'initier sur sol

FIGURE 2
Evolution du recouvrement herbacé (Rec.moy.) sur sol Hardé et de la pluviométrie hebdomadaire en 1986 et 1987, pour chaque traitement (irrigué ou non) (SEGHIÉRI, 1990)



Hardé à la suite d'un « accident » favorable. Elle constitue la plus grosse part du potentiel de régénération de ces milieux.

L'évolution saisonnière du recouvrement sous irrigation n'a pas été semblable les deux années (fig. 2). En 1986, le démarrage est en effet très précoce (dès le mois d'avril) par rapport à celui de la végétation non irriguée et le développement est très progressif (pente assez douce de la courbe). En revanche, en 1987, le début du développement continu du tapis herbacé n'a pas été plus précoce sur la surface irriguée ; mais le recouvrement s'est accru très rapidement en début de saison (juin) ; sa valeur était proche du maximum dès le début du mois de juillet (près de 60%). Ce résultat met en évidence l'importance de la répartition des premières pluies sur le début de l'enherbement. En effet, en 1986, les deux arrosages ont été suivis de semaines relativement pluvieuses ; en 1987, au contraire, les irrigations ont eu lieu en période de sécheresse climatique absolue. Ainsi, même si la hauteur des premières pluies est élevée (comme simulée par les irrigations en 1987), la régularité de leur répartition est primordiale pour déterminer le début de l'enherbement pendant une saison donnée: d'une part, elles doivent humidifier le substrat assez longtemps pour que les phases de germination et de levée puissent s'accomplir complètement (MERLIER, 1972 ; BREMAN *et al.*, 1982 ; GROUZIS, 1987) et, d'autre part, elles doivent permettre le maintien d'une hygrométrie de l'air suffisante au niveau du sol, afin de limiter l'évapotranspiration et maintenir les plantules en vie ; enfin, il y a eu 750 mm de pluies en 1986 contre 560 mm en 1987. Le recouvrement final du

tapis herbacé était plus important en 1986 qu'en 1987 (fig. 2). Ce résultat, obtenu sur sol Hardé en termes de recouvrement, est comparable à ceux obtenus par de nombreux auteurs en milieux aride et semi-aride en termes de biomasse (BILLE, 1976 ; COOK et SIMS, 1975 ; LE HOUEROU et HOSTE, 1977 ; CORNET, 1981 ; DE RIDDER *et al.*, 1982). Il existe une corrélation étroite entre la pluviosité et le développement du tapis herbacé. SEGHIERI (1990) a montré les limites de cette relation dans le secteur d'étude (bassin versant de Mouda), sur des sols en meilleur état où l'eau disponible est rarement une ressource limitante au coeur de la saison des pluies. Dans ce cas, à partir d'un seuil de pluviosité qu'il reste à déterminer, le recouvrement final ne croît plus avec l'augmentation des pluies.

CONCLUSION

Si les sols Hardé accentuent l'effet de la sécheresse climatique saisonnière par une aridité édaphique marquée (SEINY-BOUKAR, 1990), leur « stérilité » n'est pas irréversible. Elle est due à un dysfonctionnement hydrique (FLORET, PONTANIER, 1984), une faible infiltrabilité et une forte évaporation. L'application de techniques visant à limiter le ruissellement des pluies et à améliorer l'infiltrabilité du sol devrait permettre de réhabiliter ces milieux. Des études visant à préciser les modalités d'intervention à effectuer sont en cours actuellement (PELTIER, 1989 ; IRA, 1990). En effet, dans la mesure où l'eau s'infiltré, la bonne capacité de rétention et l'importance de la réserve hydrique du sol conduisent à un développement herbacé comparable à celui obtenu sur des milieux non dégradés du même secteur (vertisol modal notamment). Tous les sols Hardé n'ont pas les mêmes potentialités de régénération. Il en existe qui ont atteint un niveau de dégradation ultime. Ils ne présentent plus d'intérêt car leur stabilité est telle que le coût d'une éventuelle réhabilitation est trop élevé pour qu'elle puisse être mise en pratique. Il est donc nécessaire de localiser les zones où il est possible de régénérer les milieux dégradés et de pratiquer la mise en défens, plus ou moins longue en fonction de l'état de dégradation, afin de permettre à la végétation naturelle de se réinstaller avec, en particulier, des annuelles à cycle de vie long et des herbacées pérennes. Des semis d'espèces pionnières comme *Schoenefeldia gracilis* seraient également envisageables pour accélérer le processus. BOUDET (1990) propose un certain nombre de modèles d'intervention pour améliorer la gestion des parcours sahétiens, qui pourraient tout à fait être appliqués dans les secteurs sahélo-soudaniens déjà fortement atteints par la dégradation. ■



Photo 4 : Front de colonisation du sol nu à partir de la surface irriguée en 1986 seulement par les graines de *Schoenefeldia gracilis*. Photo SEGHIERI.
Date de prise de vue : juillet 1987

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BILLE, (J.C.), 1976. — Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Thèse ès Sciences. Université de Paris-Sud, Orsay, 82 p.
- BREMAN, (H.), CISSE, (A.M.), DJITEYE (M.A.), ELBERSE (W.Th.), 1982. — Le potentiel botanique des pâturages. In PENNING DE VRIES F.W.T. et DJITEYE M.A. : La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, pp. 98-132.
- C.C.E., 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). IRA-IRGM-ORSTOM-CNRS, rapport de fin de contrat T.D.S. A.216 CAM (5), ronéo, 232 p.
- CHAIEB, (M.), 1989. — Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone sud-tunisienne. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 292p.
- CISSE, (A.M.), 1986. — Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne. PPS, Wageningen, 211 p.
- COOK, (C.W.) et SIMS (PH.), 1975. — La sécheresse et ses effets sur l'évolution de la productivité et de la production des animaux au pâturage. Actes du colloque de Bamako (Mali) sur l'« Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains », 3-8 mars 1975, CIEA, Addis-Abeba, pp. 163-170.
- CORNET (A.), 1981. — Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse de Docteur-Ingénieur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 353 p.
- DE RIDDER (N.), STROOSNIJDER (L.) et CISSE (A.M.), 1982. — La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource. Textes du cours PPS, tome 1, théorie. Université Agronomique, Wageningen, 237 p.
- FOURNIER (A.), 1990. — Phénologie, croissance et production végétale dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient de sécheresse. Thèse de Doctorat. Université P. et M. Curie, Paris VI, 477 p.
- GROUZIS, (M.), 1987. — Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Thèse ès Sciences. Université de Paris-Sud, Orsay, 336 p.
- IRA., 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989, ronéo, 55 p.
- KEMP, (P.R.), 1983. — Phenological patterns of Chihuahuan desert plant in relation to the timing of water availability. *J. of Ecology* 73 : pp. 235-253.
- LE HOUEROU, (H.N.) et HOSTE, (C.H.), 1977. — Rangeland production and annual rainfall relations in the mediterranean basin and in African Sahelo-Sudanian zone. *J. of Range Manag.*, 30, (3) : pp. 181-189.
- LETOUZEY, (R.), 1985. — Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000, 1) Domaine sahélien et soudanien. IRA (Herbier National), Yaoundé. — Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Toulouse, pp. 1-26.
- MERLIER, (H.), 1972. — Synthèse des études phénologiques des espèces de jachère du Centre-Sénégal. *Agron. Trop.*, vol. XXVII, 12 : pp. 1 229-1 252.
- MONROY-ATA, (A.), 1989. — Installation de plantes pérennes de la zone aride soumises à des contraintes hydriques contrôlées et à des coupes. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 166 p.
- NOUVELLET, (Y.), 1987. — Fiches techniques de diverses essences de la région de Maroua. MESRES-IRA-CRF Maroua (Cameroun), 73 p.
- PELTIER, (R.), 1989. — Un essai sylvo-pastoral au Nord-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 221, pp. 3-23.
- POUPON, (H.), 1979. — Etude de la phénologie de la strate ligneuse à Fété-Olé (Sénégal septentrional) de 1971 à 1977. *Bull. IFAN* tome 41, ser.A, n° 1 : pp.44-85.
- SEGHERI, (J.), 1990. — Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 200 p.
- SEINY-BOUKAR, (L.), 1990. — Régime hydrique et érodibilité des sols au nord du Cameroun. Propositions d'aménagement. Thèse de 3ème cycle. Université de Yaoundé, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, 230 p.
- WALTER, (H.), 1971. — Ecology of tropical and sub-tropical vegetation. Olver and Boyd eds., Edinburg, pp. 238-298.

Josiane SEGHERI
ORSTOM, Avenue de Maradi
BP 11416, Niamey (Niger)

Christian FLORET
ORSTOM
BP 1386, Dakar Hann (Sénégal)

RÉHABILITATION D'UN SOL HARDÉ D'ORIGINE VERTISOLIQUE

par Paul DONFACK, phytoécologue IRA
Dominique MASSE, agropédologue ORSTOM
et Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue IRA



Sur sol Hardé, toute modification du régime hydrique
change profondément la dynamique de la végétation herbacée.

RÉSUMÉ

Les auteurs décrivent des méthodes d'économie de l'eau, testées sur un vertisol dégradé de Mouda, qui entrent dans le groupe des sols Hardé. Il s'agit du « pitting », fosses de 1 × 0,3 × 0,15 m espacées de 1 m entre elles, sur la ligne et entre les lignes. Elles sont placées en courbe de niveau et en quinconce. Les « bandes alternées » consistent à alterner des bandes labourées de 15 × 15 m et des bandes non labourées faisant office d'impluvium. Trois labours en première année, et un en deuxième, permettent d'incorporer la biomasse végétale. Le troisième traitement, dénommé « micro-catchment » est identique au précédent avec, en plus, une diguette en aval de la bande labourée. Enfin, le « témoin » n'est pas aménagé.

Le régime hydrique est mesuré tout au long de l'année, à l'aide d'une sonde à neutrons. Des relevés de végétation sont effectués, chaque année, à différentes phases du cycle de développement de la strate herbacée, grâce à la méthode des points cadrats qui donne la fréquence des espèces, le taux de recouvrement et le recouvrement global de la végétation. Des analyses de sol permettent de suivre l'évolution des caractéristiques chimiques et le taux de matière organique.

Quant à l'infiltration de l'eau dans le sol, elle ne concerne que les dix premiers centimètres sur le témoin, alors qu'elle atteint 30 cm la première année et 40 cm la deuxième sur les bandes labourées, avec ou sans diguette.

L'amélioration due au « pitting » est localisée sur une auréole de 30 cm autour du trou.

Concernant la dynamique de la végétation naturelle, le témoin est caractérisé par la faible richesse spécifique d'espèces adaptées aux conditions difficiles du milieu, telles que *Schoenefeldia gracilis*, et par un recouvrement d'environ 30 %.

Le labour avec ou sans diguettes améliore non seulement le recouvrement de la strate herbacée, qui peut atteindre 100 % par endroits, mais aussi la richesse floristique. On voit ainsi apparaître une trentaine de nouvelles espèces, dont beaucoup se cantonnent d'ordinaire dans les bas-fonds humides. Le « pitting » a les mêmes effets mais la végétation se concentre autour des trous.

Ces premiers résultats favorisent les techniques modifiant l'état de surface du sol, tel le labour qui casse la pellicule de battance. L'amélioration du régime hydrique se fait lentement, mais la végétation répond très rapidement. Les auteurs pensent que l'enfouissement de cette végétation devrait aider une remontée biologique de ces sols et améliorer ainsi leur régime hydrique.

ABSTRACT

The authors describe the water economizing methods which were tested on the Hardé soils of Mouda. The first treatment consists of making pits (pitting) of 1 × 0.3 × 0.15 m with 1 metre spacing between pits on each line and between lines. In the second treatment there are ploughed strips of 15 × 15 m which alternate with impervious unploughed strips. Ploughing was done three times in the first year and once in the second year. The available biomass was incorporated into the soil during ploughing. A third treatment called the « microcatchment », is similar to the preceding one but with a dyke below each ploughed strip. The last treatment is the control which received no management.

The water regime is measured throughout the year using a gamma neutron probe. A grid is used annually to measure the frequency of represented species and the rate of ground colonisation at different phases of the development of the herbaceous vegetation. The evolution of the chemical characteristics of the soil and the organic matter content are followed up through soil analysis.

Water infiltrated only into the first 10 cm of the control experiment while infiltration was 30 cm and 40 cm in the first and second year respectively on the ploughed strips (with or without the dykes).

Soil condition improvement due to « pitting » was localized on an area of 30 cm around the hole.

As for natural vegetation dynamics, the control was characterized by about 30% ground coverage by specific species like *Schoenefeldia gracilis* which are adapted to the harsh conditions of the environment.

Ploughing (with or without dykes) did not only improve the herbaceous ground cover which could be up to 100% on certain spots but also the floristic richness. The appearance of about 30 new species most of which are normally found only in the humid bottom lands could be seen. « Pitting » had the same effects but the vegetation was concentrated around the holes.

These first results clearly favour the use of techniques aimed at modifying the surface state of the soil such as ploughing which breaks up the hardened layer. The improvement of the water regime takes place slowly but vegetation response is very rapid. The authors think that the incorporation of this vegetation into the soil ought to help in the building up of the biological soil content and thus help to improve the water regime.

Dans la représentation schématique des systèmes écologiques de Mouda (rapport CEE 1988, SEINY-BOUKAR 1990), on observe une séquence vertisolique de dégradation dont les principaux éléments sont le vertisol modal (VM), le vertisol dégradé (VD) et le sol Hardé (HV). Les deux derniers éléments (VD et HV) correspondent à des faciès de dégradation du vertisol modal. Nous les désignons par le terme de « terre marginale » à cause du caractère faible et instable de leur productivité en culture pluviale.

Les caractéristiques des sols Hardé s'expriment par une diminution de la réserve utile du sol et de la profondeur maximale humectée, par une baisse de l'efficacité des précipitations dans la recharge des réserves hydriques du sol et, en conséquence, par une diminution de la réserve d'eau disponible pour les végétaux, d'où le caractère marginal de ces sols.

C'est pour améliorer leur production qu'ont été entrepris les essais de réhabilitation des sols Hardé appartenant à la série vertisolique de Mouda.

Les techniques de réhabilitation testées visent à diminuer, voire stopper, le ruissellement, augmenter l'infiltration de l'eau vers les horizons sous-jacents et allonger le calendrier des disponibilités en eau, pour améliorer le régime hydrique et concourir à une remontée biologique de ces sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ La zone test de Mouda

L'étude est menée sur le bassin versant de Mouda, une zone test représentative de la plaine du Diamaré par sa composition floristique et ses types de sols. Située à 30 km au sud de Maroua et à proximité de l'axe routier Maroua-Garoua, cette zone est soumise, dans son ensemble, au climat de cette région dont la moyenne interannuelle des précipitations est de 780 mm. Le bassin versant étudié couvre une superficie de 1 810 ha environ ; les crêtes de ce bassin sont constituées de collines et de plateaux dominant faiblement une plaine vertisolique; l'altitude de la zone varie de 440 m à 600 m.

■ Description du sol Hardé de Mouda

● Le sol

Le profil du sol Hardé de Mouda se caractérise par un horizon superficiel sablo-argileux massif et com-

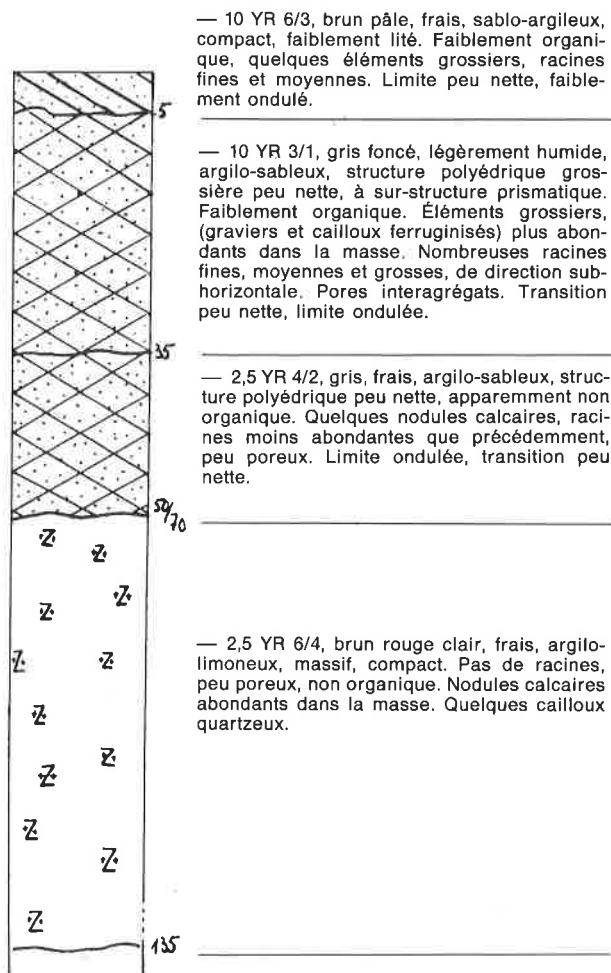
pact, recouvert d'une épaisse pellicule de battance. Cet horizon massif, épais de 5 à 20 cm, recouvre un horizon sous-jacent argileux et vertique, présentant des nodules calcaires dans la masse vers 50/70 cm (fig. 1, p. 68).

● La végétation

La végétation se caractérise par un pauvre couvert végétal discontinu et une faible richesse spécifique. Ceci est vrai à la fois pour le couvert arboré et le tapis herbacé ; pour le sol Hardé de Mouda, le couvert ligneux est caractérisé par les espèces suivantes : *Balanites aegyptiaca*, *Lannea humilis* et *Dalbergia melanoxylon*. À ces espèces caractéristiques sont associées quelques autres telles que *Acacia seyal*, *Acacia hockii*, *Sclerocarya birrea*, *Dichrostachys glomerata*. Le couvert total de cette strate ligneuse ne dépasse pas 5 % de la surface du sol.

Les herbacées les plus fréquentes, qui représentent à elles seules 90 % de la couverture spécifique, sont *Schoenefeldia gracilis*, *Sporobolus festivus*, *Tripogon minimus*, *Loudetia togoensis* et *Anthericum sp.* L'ensemble du couvert herbacé atteint 75 % environ en pleine période de végétation.

FIGURE 1
Description du profil pédologique sur sols Hardé



■ **Dispositif expérimental**

L'objectif est de faire infiltrer le maximum de l'eau perdue par ruissellement qui, à l'échelle de l'année, peut largement dépasser 50 % (THEBE, 1987). Dans les traitements testés, on ne s'intéresse qu'à des aménagements concernant la maîtrise de l'eau (impluvium, pitting, etc.), ainsi qu'à la remontée biologique de ces sols, principalement par l'enfouissement de la matière organique. Les trois traitements sont les suivants :

- **Le pitting** : confection de fosses de 1 × 0,3 × 0,15 m, espacées de 1 m sur et entre les lignes. Les fosses sont placées perpendiculairement à la pente et en quinconce pour permettre un meilleur captage des eaux de ruissellement.
- **Les bandes alternées** : alternance de bandes labourées et de bandes non labourées faisant office d'impluvium. On a donc une supplémentation en

eau de ruissellement de la bande labourée se situant en aval. Les bandes mesurent 15 × 5 m et sont perpendiculaires à la pente. Des labours sont effectués durant la saison des pluies pour incorporer la biomasse végétale et assurer ainsi un enrichissement en matière organique (trois labours la première année et un la deuxième année) ; le dernier labour a lieu fin août.

- **Le microcatchment** : traitement identique au système des bandes alternées avec, en plus, une diguette en aval de la bande labourée pour contenir les éventuelles eaux de ruissellement sur le labour. On procède également à des enfouissements de la végétation naturelle.

Par ailleurs, la mise en défens est effectuée sur tous les traitements, y compris le témoin.

L'expérimentation comprend deux blocs (deux répétitions) de quatre parcelles (trois traitements + un témoin sans aménagement). Les parcelles mesurent 30 × 15 m.

■ **Indicateurs observés**

Les indicateurs physiques et biologiques suivants sont observés :

- **Indicateurs physiques** : un suivi du régime hydrique est assuré tout au long de l'année. Il se fait par des mesures d'humidité volumique à l'aide d'une sonde à neutrons. Quatorze tubes d'accès de sonde ont été placés sur l'un des deux blocs. Des mesures de caractérisation du ruissellement et de l'érosion sont prévues au bout de quatre années de suivi.
- **Indicateurs biologiques** : des relevés de végétation sont effectués chaque année à différentes phases du cycle de développement de la strate herbacée. La méthode utilisée est celle des points quadrats. Elle permet de suivre des modifications aussi bien qualitatives que quantitatives de la végétation (lignes de 10 m de cent points de lecture chacune). Cette méthode consiste à évaluer la fréquence des différentes espèces rencontrées et en déduire un taux de recouvrement. Elle permet aussi de calculer le recouvrement global de la végétation.

Enfin, des analyses de sols permettront de suivre l'évolution des caractéristiques chimiques, notamment en ce qui concerne le taux de matière organique et le degré d'agrégation.

PREMIERS RÉSULTATS

■ Amélioration du régime hydrique des terres

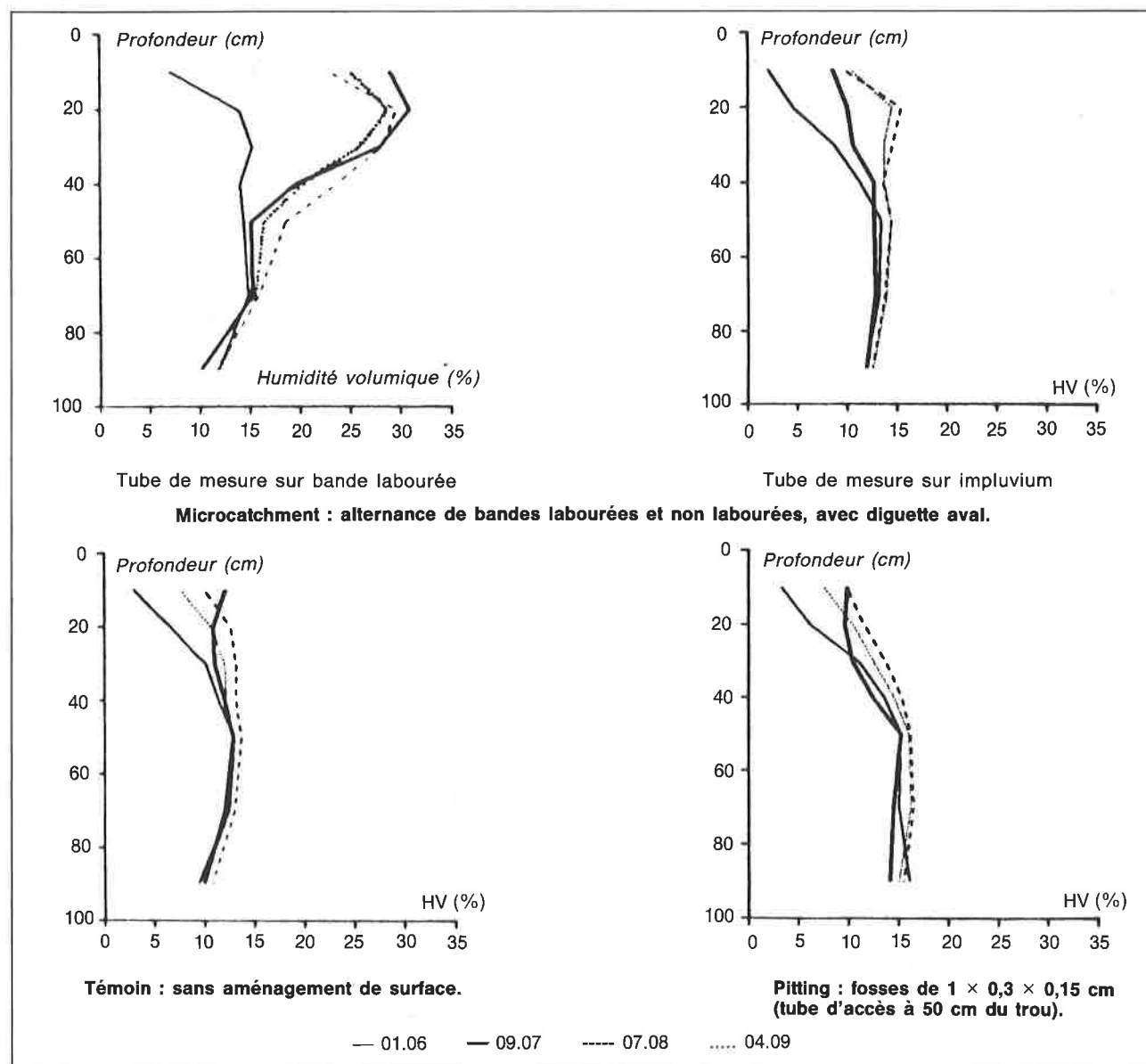
Signalons que, malgré les aménagements réalisés, le ruissellement n'a pu être totalement endigué.

Le profil hydrique mesuré sur parcelle mise en défens, sans aménagement hydraulique (témoin), présente peu de variations au cours de la saison des pluies; l'humidité volumique reste constante autour de 10 à 15 % entre 30 et 90 cm. Lors de fortes pluies, le

front d'humectation peut atteindre les trente premiers centimètres (fig. 2).

Le labour améliore le régime hydrique, c'est-à-dire il augmente la profondeur d'humectation et donc la profondeur de la zone de variation de l'humidité, au cours de la saison. Toutefois, cette profondeur atteinte n'est que de 30 à 35 cm la première année et de 50 cm, la deuxième année. Les gains de stock en eau sont de l'ordre de 40 mm sur les bandes labourées; ce gain est lié à l'augmentation de la profondeur humectée (fig. 2).

FIGURE 2
Profils hydriques pour la saison 1990
humidité volumique = f (profondeur)



La différence entre la technique des bandes alternées et celle du microcatchment n'est pas significative (nombre de répétitions trop faible).

L'amélioration due au pitting est localisée. Elle est perceptible sur une auréole de 20 à 30 cm autour du trou, bien marquée par la végétation.

La technique du labour semble être la plus rapide pour améliorer le régime hydrique des sols Hardé du type de Mouda. Il faudra toutefois suivre l'effet de labours successifs sur la structure du sol, ainsi que leur influence sur le taux de matière organique.

■ Dynamique de la végétation naturelle

Les parcelles sans aménagement présentent une végétation caractéristique des sols Hardé. Les traits essentiels en sont une faible richesse spécifique et des espèces adaptées aux conditions difficiles du milieu, telles que *Schoenefeldia gracilis*, *Tripogon minimus*, *Dipcadi viride*, *Drimiopsis barteri*. Le recouvrement est également très faible, de l'ordre de 20 à 40 % au maximum de la végétation.

Le labour améliore non seulement le recouvrement de la strate herbacée (jusqu'à 100 % par endroits) mais également la richesse floristique (cf. tableau ci-après). On compte environ une trentaine d'espèces qui germent dans les bandes labourées et qui sont absentes ou rares hors des aménagements. Parmi ces dernières, les espèces de milieu humide occupent une position de choix de par leur recouvrement : *Echinochloa colona*, *Cyperus spp.*, *Oryza barthii*, *Rhytachne triaristata*, etc.

Les traitements en bandes alternées et en microcatchment ne provoquent pas de différences perceptibles sur la végétation. La répétitivité des labours ne favorise évidemment pas les espèces pérennes.

Quant au pitting, la tendance est la même que sur les bandes labourées: augmentation de la richesse floristique et du recouvrement, avec de fortes valeurs à l'emplacement des trous et sur une auréole de 10 à 20 cm.

Recouvrement global et richesse floristique sous deux types d'aménagements : Bandes alternées et microcatchment

		Recouvrement global moyen (%)	Nombre d'espèces moyen
Bandes alternées	impluvium	75	8,5
	labour	87,5	11,5
Microcatchment	impluvium	47	6,5
	labour	86	10,5

CONCLUSION

Le dispositif expérimental visant à réhabiliter les sols Hardé de la série vertisolique de Mouda a été mis en place en mai 1989. Le suivi est prévu pour quatre années. Les premiers résultats semblent favoriser les techniques modifiant l'état de surface du sol, tel le labour qui « casse » la pellicule de battance. On remarquera, cependant, que l'amélioration du régime hydrique se fait lentement sous les différents aménagements et montre ainsi des circulations d'eau difficiles dans ce type de sols.

En revanche, la végétation répond très rapidement aux différents traitements par augmentation de la richesse floristique et du recouvrement. La modification floristique est plus spectaculaire sur parcelle labourée. L'enfouissement de cette végétation, de plus en plus dense et diversifiée, devrait favoriser une remontée biologique de ces sols, améliorer par la suite leur régime hydrique et confirmer ou infirmer les conclusions de GUIB (1976), qui avait eu des résultats concluants dans son essai de réhabilitation de sol Hardé.

Les prochaines années devraient nous permettre de préciser l'intérêt de ces traitements dans le cadre d'une remise en culture ou d'un aménagement à but pastoral. En particulier, vu la faible efficacité des traitements hydrauliques effectués pour limiter, voire supprimer le ruissellement et forcer ainsi l'infiltration, il est envisagé des traitements de surface visant à quadriller l'espace par des casiers. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CEE, IRA, ORSTOM, 1986. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau au Nord-Cameroun. Rapport final.

CLAUDE, (J.), FLORET, (C.), PONTANIER, (R.), 1989. — Rapports de mission au Cameroun. Maroua, 11 au 25 mars 1989, 25 août au 9 septembre 1989.

CNS, IRA, ORSTOM, 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales au Nord-Cameroun. Rapport de campagne.

SEINY-BOUKAR, (L.), 1990. — Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse Doc. 3ème cycle. Université de Yaoundé, 226 p. + annexes.

THEBE, (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse Doc. Université Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 238p + annexes.

Dominique MASSE
 ORSTOM
 BP 1386 Dakar Hann (Sénégal)
 Paul DONFACK et Lamine SEINY-BOUKAR
 Institut de la Recherche Agronomique
 BP 33 Maroua (Cameroun)