

Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux

Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Nord-Cameroun (Mbissiri, 1991-1992)

Baboule Zachée BOLI (1), Éric ROOSE (2), Benjamin BEP A ZIEM (3), Kallo SANON (4) et Florent WAECHTER (5)

- (1) Ira, BP 163, Foumbot, Cameroun.
(2) Centre Orstom, BP 5045, Montpellier cedex 1, France.
(3) Ira, BP 33, Maroua, Cameroun.
(4) Inera, BP 7192, Ouagadougou, Burkina.
(5) 42, rue Rabelais, 67200 Strasbourg, France.

RÉSUMÉ

Sur les sols ferrugineux sableux de la savane soudanienne du Nord-Cameroun, l'intensification des cultures du cotonnier et des céréales fait appel au labour à la charrue, aux engrais minéraux, aux herbicides, à la protection phytosanitaire et aux variétés améliorées. Elle aboutit à la dégradation des terres quand l'érosion n'est pas suffisamment contrôlée : il s'ensuit un éloignement des blocs de culture. Pour sélectionner des systèmes de culture intensifs et durables, les auteurs ont installé un dispositif très complet (57 parcelles d'érosion de 100 à 1 000 m², six lysimètres, etc.) qui permet d'évaluer l'érosion, le bilan d'eau et de nutriments ainsi que les rendements, sous une dizaine de techniques culturales et divers modes de gestion des matières organiques.

Les résultats des deux premières campagnes sont présentés, en groupes de traitements relativement stables. Sous la savane, le ruissellement ($K_{ram} = 0,7$ à 3 %) et l'érosion (0,5 à 3 t/ha/an) sont modestes, même si la savane est pâturée et brûlée.

En milieu cultivé, les résultats sont très variables selon que le sol est nu ou couvert, compact ou ameubli. Les parcelles labourées ruissellent et s'érodent le plus ($K_{ram} = 30$ à 35 % ; $E = 10$ à 24 t/ha/an), mais donnent les meilleurs rendements. Les parcelles en semis direct, couvertes de résidus de culture, s'érodent modérément ($K_{ram} = 4$ à 10 % ; $E = 2,2$ à 7 t/ha/an), selon la disponibilité en biomasse. Malgré des pertes en eau et en terre modestes, les rendements en maïs sont souvent plus faibles (10 à 40 % de grain en moins que sur les parcelles labourées) : le tassement du profil et l'abondance de l'infiltration seraient les principales causes de cette réduction. Sous coton, les différences sont parfois positives sur les sols non dégradés mais négatives sur les sols dégradés.

Il existe des interactions entre l'influence de la pente et celle des états de surface. Lorsque le sol est bien couvert (par exemple, les parcelles paillées et le semis direct avec résidus de culture en surface), l'érosion n'a pas tendance à augmenter avec la longueur de pente, ni avec l'inclinaison : il semble que ni la vitesse, ni l'énergie du ruissellement n'augmentent, grâce à la rugosité de la litière. En revanche, lorsque le sol est mal couvert (par exemple, les parcelles labourées), les risques d'érosion augmentent rapidement avec la pente. Aucun effet d'échelle n'est apparu avec l'augmentation de la surface expérimentale de 100 à 1 000 m² ; mais il faudra confirmer ces résultats dans les années à venir et les vérifier à l'échelle du versant, du terroir et surtout du bassin versant.

Les matières organiques enfouies n'ont pas eu d'effet visible sur les risques d'érosion de ces deux premières années, mais l'action à court terme sur les rendements peut être spectaculaire. Seule la biomasse étalée à la surface du sol réduit fortement l'érosion. Le labour (surtout avec un peu de fumier) produit bien, mais pour combien de temps ? Le semis direct protège bien le sol, mais la productivité est variable en fonction de la culture et de la pluviosité. À l'avenir, on cherchera à améliorer le travail sur la ligne de plantation et à fractionner la fumure en fonction des risques de drainage, à couvrir le sol par une plante de couverture (légumineuse) ou par les herbes naturelles grillées au paraquat. Une autre solution consiste à alterner le labour avant maïs avec le semis direct du cotonnier l'année suivante.

MOTS CLÉS : Nord-Cameroun — Érosion — Ruissellement — Production végétale — Gestion de la biomasse — Dégradation des sols — Restauration de la productivité — Techniques culturales — Haies vives — Pente — Savane soudanienne — Feu — Pâturage — Coton — Maïs.

ABSTRACT

EFFECTS OF CULTURAL PRACTICES ON RUNOFF, SOIL EROSION AND YIELD OF COTTON AND MAIZE ON A SANDY ALFISOL. INTENSIVE AND SUSTAINABLE CROPPING SYSTEMS RESEARCH IN THE SUDANESE ZONE OF NORTH-CAMEROON

On tropical sandy ferruginous soils of the sudanese savanna of North-Cameroon, intensive cropping of annual weeded crops like cotton and maize by plowing, fertilizing, protecting crops and the use of improved varieties cannot prevent soil productivity decrease when erosion prevention is neglected. To assess intensive and sustainable cultural practices, the authors have built a very comprehensive device (57 runoff plots of 100 to 1000 m², six lysimeters, etc.) allowing to quantify erosion, water and nutrients balances, losses by runoff and leaching, yields of biomass and the impact of a dozen of cultural techniques and four biomass management practices. Results from the first two years of experimentation were similar as concern their ranking based on their effects on runoff, erosion under cotton and maize. Runoff ($K_{ram} = 0.7$ to 3 %) and erosion (0.5 to 3 t/ha/year) are moderate under the savanna, even when subjected to early bushfire and grazing.

In cultivated area, results vary according to surface topsoil status (sealing crusts area, litter, green cover...) and compaction of degraded soil profile. Ploughed plots give highest runoff ($K_{ram} = 30$ %) and erosion ($E = 10$ to 24 t/ha/year), however, they produce better yields of maize than no-tillage, chiefly on degraded soils. No-tilled plots, covered with cropping residues, got a better infiltration capacity ($K_{ram} = 4$ to 10 %) and lost less eroded soil ($E = 2$ to 7 t/ha/year) but produced 10 to 40% less corn because poor development of the root system and high infiltration.

Interactions between the effects of slope and of surface status have been observed. When the soil is well covered (mulched, or direct seeding under abundant crops residues) erosion does not increase with the slope length, nor with the slope gradient. Because of the litter roughness, the speedness and the runoff energy are not increasing. But when the soil is not well covered (plowed plots) erosion risks increase fastly with the slope. No scale effect has been observed between 100 and 1,000 m²: these results must be confirmed next years and later on hillslopes and watersheds.

It has been noticed that buried organic matter like crop residues, and farm manure had no significant immediate effect on erosion, but the increase of yield was spectacular on manured plots when erosion did not carry it away. Only biomass spread on the soil surface decreases runoff and erosion significantly on conventional tillage plots: but the cost of mulching is too high for the farmers in terms of labour time.

For the future, research will try to improve tillage limited to the plantation lines, to limit erosion risk by covering the plowed horizon with a leguminous seeded under the maize, or with natural weeds burned by paraquat when 20 cm high. If the soil is covered, infiltration increases and it becomes necessary to split up fertilization in relation with leaching risks by drainage waters. An other alternative is plowing before maize and no-tillage on cotton the next year.

KEYWORDS : North-Cameroon — Runoff — Erosion — Soil productivity degradation — Cultural practices — Biomass management — Cotton-maize rotation — Slope effects — Living hedges — Sudanese savannah — Fire — Grazing.

RESUMEN

EFFECTOS DE LAS TECNICAS DE CULTIVO SOBRE EL ESCURRIMIENTO, LA EROSIÓN Y LA PRODUCCIÓN BAJO ALGODON Y MAÍZ EN UN SUELO FERRUGINOSO ARENOSO TROPICAL. ELABORACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO INTENSIVOS Y DURABLES EN LA AREA « SUDANOSA » DEL NORTE-CAMERÚN (MBOISSIRI, 1991-1992)

En los suelos ferruginosos arenosos de la savana del Norte-Camerún, la intensificación de los cultivos de algodón y cereales (arado, abonos minerales, protección fitosanitaria, variedades mejoradas) no impide la degradación del suelo cuando la erosión no es suficientemente controlada. Poco a poco las parcelas cultivadas se alejan del pueblo. Para elaborar y seleccionar sistemas de cultivo intensivos y durables, los autores instalaron un dispositivo muy completo (57 parcelas de escurrimiento de 100 hasta 1 000 m² y 6 lisímetros, etc.) que permite medir la erosión, los balances hídrico y de nutrientes así como los rendimientos bajo una decena de técnicas de cultivo diferentes y varias modalidades de gestión de la materia orgánica.

Los resultados de los dos primeros años son presentados en grupos de tratamientos bastante estable. Bajo sabana, el escurrimiento (Kram = de 0,7 hasta 3 %) y la erosión (E = de 0,5 hasta 3 toneladas/hectarea/año) son débiles aun cuando la sabana esta paturada y quemada.

En parcelas cultivadas, los resultados varían mucho según la cobertura y la estructura (compacta o mullidura) del suelo. Las parcelas aradas son las que chorrean y corroen más (Kram = de 30 hasta 35 %, E = de 10 hasta 24 t/ha/año) pero dan los mejores rendimientos. Los terrenos de labranza cero, cubiertos de residuos de cultivo, corroen moderadamente (Kram = de 4 hasta 10 %, E = de 2,2 hasta 7 t/ha/año) según la disponibilidad en biomasa. Apesar de pérdidas en suelo y agua moderadas, los rendimientos de maíz, amenuado, son menores (se observa una disminución de 10 hasta 40 % del rendimiento en granocomparativamente con las parcelas aradas), en estos suelos apisonados el arraigamiento es demasiado superficial. Bajo algodón las diferencias son a veces positivas en los suelos recién cultivados pero negativas en los suelos degradados.

Existe interacciones entre las influencias de la pendiente y del estado superficial del suelo. Cuando el suelo tiene una buena cobertura vegetal (por ejemplo las parcelas esparcidas con pajas o las parcelas de labranza cero con residuos de cultivos en el suelo) la erosión no se incrementa con la longitud así como la inclinación de la pendiente : parece que no aumenta la velocidad y energía del escurrimiento a causa de la rugosidad de la litera. En cambio cuando el suelo esta desnudado (parcelas aradas) los riesgos de erosión crecen rápidamente con las características de la pendiente (longitud y %). No se encontró efecto de escala cuando la superficie experimental cambia de 100 hasta 1 000 m², pero estos resultados tendran que ser confirmado en los próximos años y verificados al nivel de la vertiente, del « terroir » y sobre todo de la cuenca.

Las materias orgánicas incorporadas no indujeron efectos patentes sobre el riesgo erosión en los dos primeros años pero su acción a corto plazo sobre los rendimientos es espectacular. Únicamente la biomasa desplegada a la superficie del suelo reduce poderosamente la erosión. La labranza (sobre todo cuando se le añade un poco de estiércol) produce bien pero hasta cuando ? La labranza cero asegura la protección del suelo pero los rendimientos son débiles a causa de un arriego limitado en estos terrenos arenosos y rápidamente apisonados. En el futuro se mejorará el trabajo sobre la línea de siembra, el fraccionamiento de los abonos minerales en función de los riesgos de drenaje, el recubrimiento del suelo arado por una planta de cobertura (leguminosa) o por las hierbas naturales destruidas con un producto químico (paraquat). La rotación, labranza antes del maíz y siembra directa (labranza cero) para el algodón, puede ser una otra alternativa.

PALABRAS CLAVES : Erosión — Escurrimiento — Producción vegetal — Gestión de la biomasa — Degradación de los suelos — Setos vivos — Longitud y % de la pendiente — Sabana de precipitaciones favorables a la producción — Fuego — Pastoreo — Algodón — Maíz — Norte-Camerún.

PROBLÉMATIQUE

Les difficultés alimentaires et la rareté des terres deviennent de plus en plus aiguës pour certaines populations du Cameroun. Il y a cinquante ans, la culture cotonnière a été développée dans la zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun (fig. 1), mais depuis les années soixante-

dix on observe sa migration vers la zone soudanienne, plus humide. On peut invoquer deux raisons : une réduction de 30 % des précipitations, mais surtout la dégradation de la productivité des sols soumis à la culture intensive du cotonnier, des céréales et de l'arachide, avec labour à la charrue et usage d'engrais acidifiants.

La croissance de la population est désormais plus rapide que celle de la production vivrière. Pour faire face à ce problème préoccupant, les structures étatiques proposent l'intensification et la mécanisation de l'agriculture. On peut alors se poser certaines questions. Quelle est la mécanisation adaptée à l'Afrique intertropicale ? Pourquoi la charrue introduite en Afrique il y a plus d'un demi-siècle n'a-t-elle pas apporté la prospérité qu'elle a donnée aux régions tempérées ? Tirée par des bœufs ou par un tracteur, la charrue est bien connue dans les stations expérimentales et les fermes d'État. Mais, en dehors des stations de recherche, elle n'a pas permis de s'affranchir de la culture

itinérante, suite à la dégradation des terres par l'érosion.

L'expérience de la Société de développement du coton dans la zone soudanienne du Nord-Cameroun ne semble pas échapper à cette règle. Depuis quelques années, en effet, des blocs de culture qui ne produisent plus assez de coton, malgré les apports d'engrais minéraux, sont déclassés. De nouvelles terres sont désenclavées et défrichées pour tenter de maintenir la production, solution qui consacre le retour à la culture itinérante, laquelle est inadaptée au contexte actuel du développement, car les villages se fixent et la terre arable n'est plus indéfiniment extensible (BOLI *et al.*, 1991).

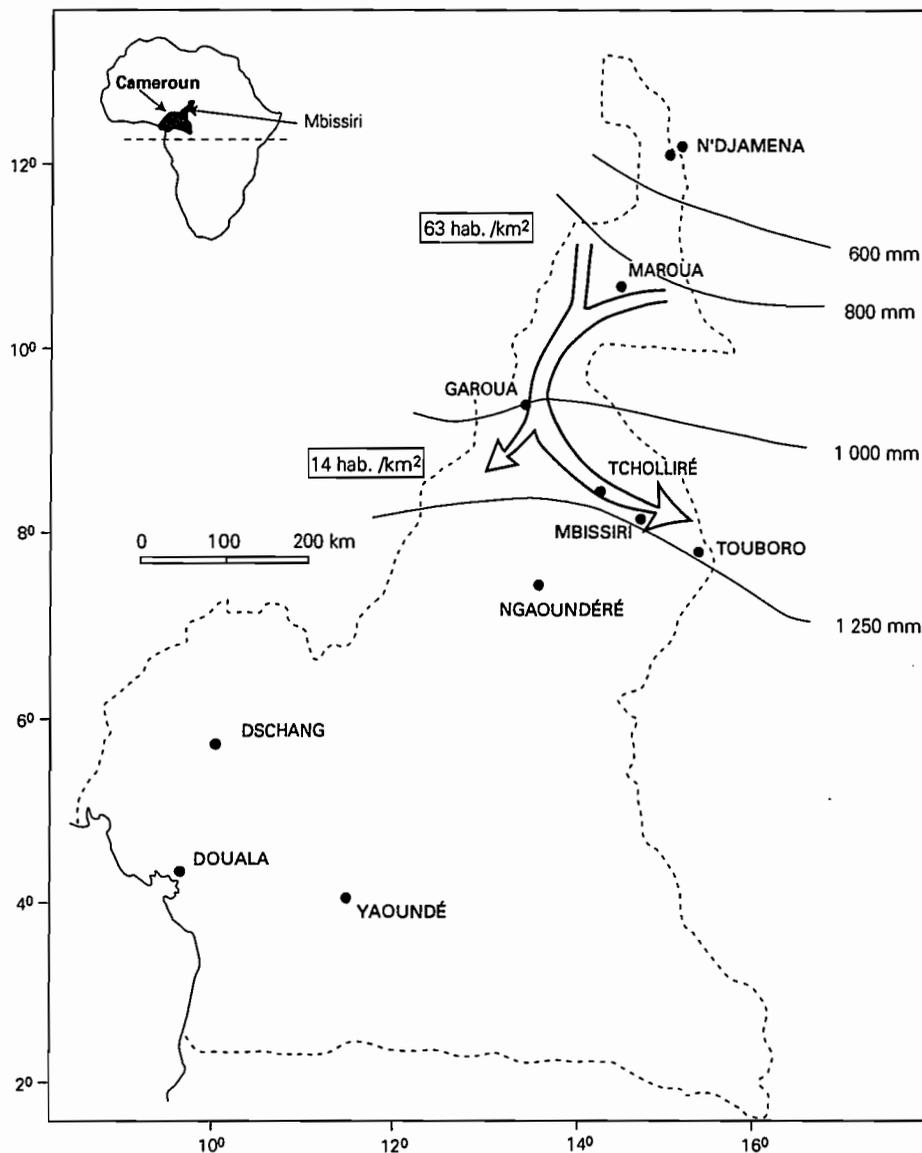


FIG. 1. — Carte de situation, des précipitations annuelles moyennes et des migrations.
Location map including mean annual rainfalls and migrations.

Si l'on rapproche les données de l'évaluation des terres de savane de basse altitude du Nord-Cameroun (BRABANT et GAVAUD, 1985) de celles du recensement du Cameroun en 1987, on observe qu'il n'y a aujourd'hui que deux hectares de terre arable disponibles par habitant. Le développement de systèmes de culture intensifs et durables devient une urgence.

L'enquête préliminaire (BOLI *et al.*, 1991), visant à comprendre l'origine de la baisse de productivité des terres a souligné l'importance du déséquilibre du bilan des matières organiques : celui-ci entraîne la dégradation des propriétés physiques, l'augmentation du ruissellement et de l'érosion et finalement la fatigue du sol, incapable de stocker l'eau et les nutriments indispensables à la culture intensive. Les pratiques culturales sont mises en cause, en particulier le labour, qui expose le sol nu à l'agressivité des premiers orages, et la culture en blocs sur de grandes longueurs de pente. Le labour profond (20 à 25 cm) réalisé par une charrue à socs offre l'avantage de préparer un lit de semences très propre, de favoriser une levée régulière du semis, d'enfouir la fumure organique et minérale et de réduire la pression des adventices pendant les premiers stades de la culture. Malheureusement, ce labour « conventionnel » a l'inconvénient d'exposer à la battance des pluies les matériaux profonds du sol, pauvres en matières organiques, de diluer celles-ci et d'accélérer leur minéralisation, de réduire la cohésion du sol, donc sa résistance à l'érosivité des pluies et, en définitive, de favoriser le ruissellement, l'érosion et la dégradation de l'état de surface du champs (ROOSE, 1981 ; LAL, 1983 ; DICKEY et SHELTON, 1987).

Les chercheurs qui ont étudié le problème du travail du sol dans les régions forestières ou soudano-sahéliennes voisines aboutissent à des conclusions divergentes. À la place du labour, trop dégradant en zone guinéenne, LAL (1983) préconise le « non-travail du sol recouvert de litière », tandis que CHARREAU et NICOU (1971), NICOU et POULAIN (1982), en zone soudano-sahélienne (du Sénégal et du Burkina), pensent que le labour, bien conduit, est indispensable pour améliorer l'enracinement et intensifier la production. En 1987, NICOU *et al.*, étudiant les effets des techniques culturales d'économie de l'eau à la parcelle sur la production de céréales au Burkina, concluent « qu'il n'y a pas lieu de généraliser une technique culturale plutôt qu'une autre sur l'ensemble du territoire, car il faut s'adapter au contexte pédo-climatique ». Valable en zone semi-aride pour la conservation de l'eau, la technique du labour en zone soudanienne présente des avantages, des contraintes et des risques variés ; nous pensons donc qu'il faut étudier les différentes techniques en termes de complémentarité et non d'exclusion réciproque. LAL (1983) ne

conclut-il pas qu'il sera nécessaire, après un certain temps de pratique du « non-travail », de décompacter le sol par un labour profond ? L'art serait donc de détecter, dans chaque situation socio-économique et pédo-climatique, les combinaisons de techniques culturales qui assurent durablement une productivité élevée et qui ne dégradent pas l'environnement.

Nous aborderons ici le problème de l'évaluation des techniques culturales en fonction de leurs effets sur les risques de ruissellement et d'érosion des sols ainsi que sur la production de coton et de maïs sur un sol ferrugineux sableux fragile de la zone soudanienne du Cameroun. Nous avons comparé les techniques pratiquées dans la région à celles qui ont fait leurs preuves ailleurs, en vue d'améliorer les systèmes culturaux ou d'en créer de nouveaux, plus adaptés au contexte physique et socio-économique régional. Les mesures d'érosion ont été effectuées sur des parcelles de 100 à 1 000 m² et les résultats de deux campagnes sont analysés à l'aide du modèle « USLE » de WISCHMEIER et SMITH (1978).

LE MILIEU

La station expérimentale est située au village de Mbisiri (latitude : 8°23'N ; longitude : 14°33'E ; altitude : 380 m), à 40 km de Tcholliré, sur la route de Touboro, et à 250 km au sud-est de Garoua (fig. 1). Le climat est de type soudanien avec 1 000 à 1 500 mm de pluie tombant en sept mois, entre avril et octobre (fig. 2). Les courbes

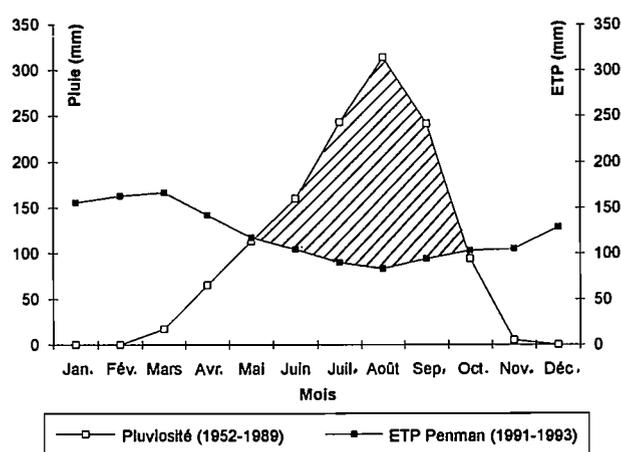


FIG. 2. — Pluie et évapotranspiration Penman (station de Touboro).
Rainfall and Penmann evapotranspiration (Touboro station).

« hauteur-intensité-durée » (fig. 3) permettent de conclure que, chaque année, il peut pleuvoir 75 mm en 24 heures, 55 mm en 1 heure et 37 mm en 30 minutes. La végétation naturelle est une savane arborée à *Isobertinia doka*, à strate herbacée dense dominée par *Hyparrhenia rufa*, *Pennisetum pedicellatum* et *Andropogon gayanus* (BRABANT et

GAVAUD, 1985). Dans les auréoles de parcours des cultures, la végétation passe à une savane arbustive à *Daniella olivieri*, *Terminalia*, *Commiphora africana*, *Combretum*, *Annona arenaria*, etc. La strate herbacée change peu, sauf dans les parcelles très dégradées où domine *Dactyloctenium aegyptiacum*.

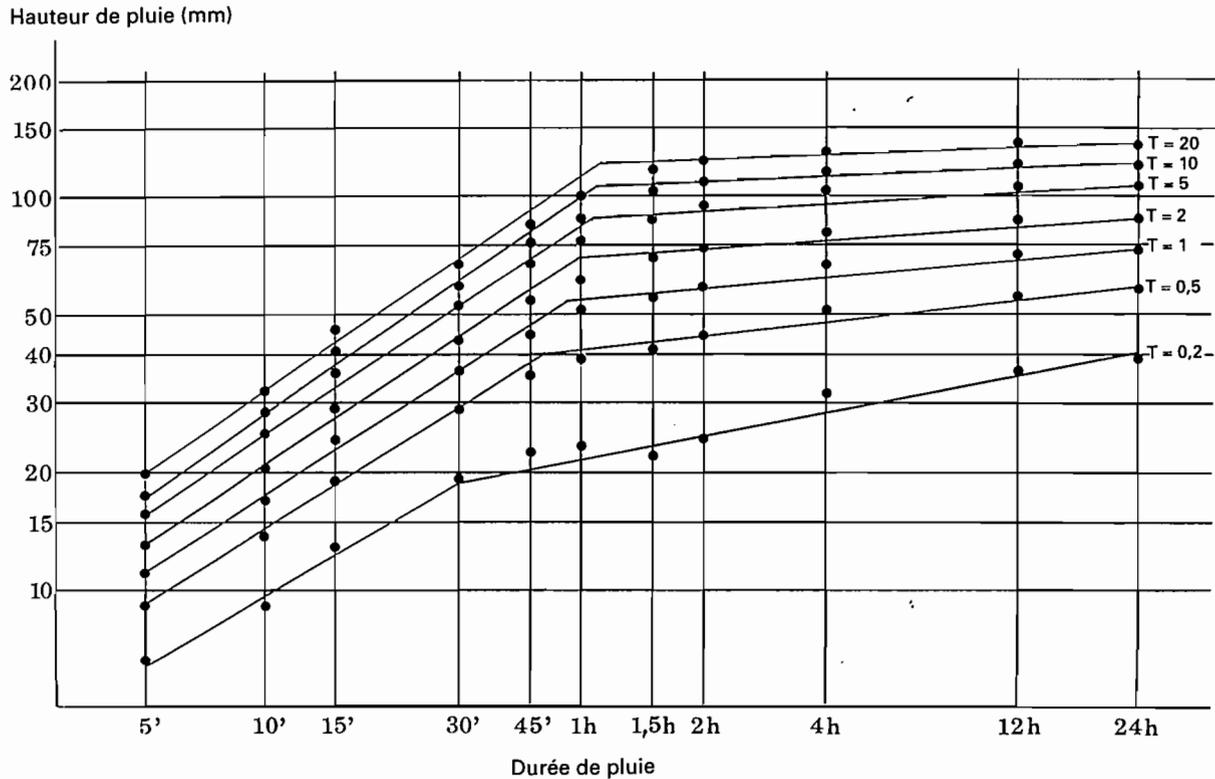


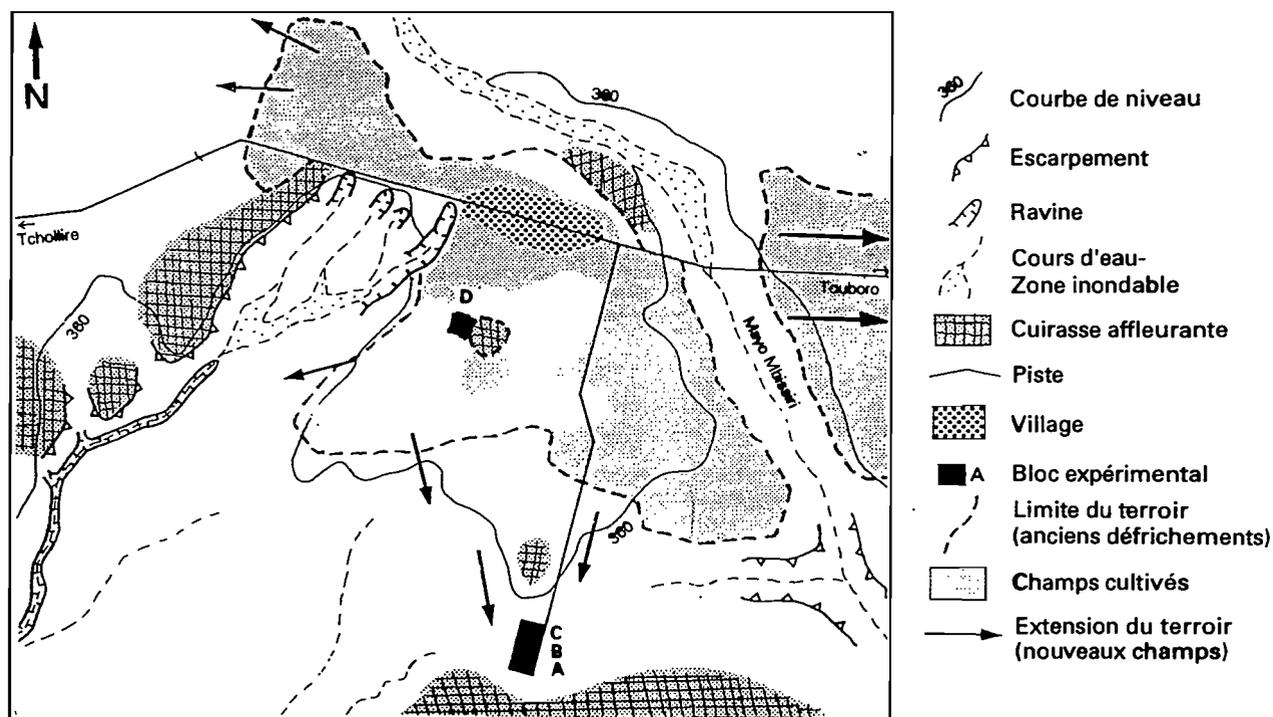
FIG. 3. — Courbes hauteur-intensité-durée-fréquence des pluies à Garoua (Cameroun) pour la période 1955-1971. D'après le CIEH. *Rainfall depth-intensity-duration-frequency curves at Garoua (Cameroon) for the 1955-1971 period. After CIEH.*

Le paysage est dominé par une butte témoin cuirassée à 400 m d'altitude, développée au piémont sud des monts Koum. Au sud, ce plateau résiduel est relié au Mayo-Rey (affluent de la Bénoué) par un long glacis de 5 km, à pente inférieure à 3 %, légèrement concave. Ce glacis est entaillé de ravines à pente plus raide (fig. 4).

La couverture pédologique (fig. 5), développée sur l'altérite d'un grès ferrugineux, est constituée de sols ferrugineux tropicaux indurés peu lessivés, très sableux (moins de 6 % d'argile kaolinique). L'épaisseur du sol meuble au-dessus de la carapace ferrugineuse augmente de quel-

ques centimètres au sommet de la butte résiduelle, à 130 cm au centre de la concavité. La carapace affleure 300 m après la zone de concavité, donnant lieu à une ligne de résurgence (ROOSE, 1991 a).

Avant défrichage, le sol est donc très sableux (sables grossiers dominants), peu acide, pauvre en matières organiques, à taux de minéralisation correct, à très faible capacité d'échange en cations essentiellement dépendante du taux de matières organiques (moins de 10 % d'argile) (tabl. I).



Source : Carte IGN 1/200 000 "Rey Boubas"

FIG. 4. — Carte géomorphologique du terroir de Mbissiri (1/30 000). D'après WAECHTER, 1993.
 Geomorphological map concerning Mbissiri area (1/30 000). After WAECHTER, 1993.

TABLEAU I
 Caractérisation des horizons de surface
 des blocs A, B et C avant défrichement
 Characterization of surface horizons
 in blocks A, B, and C before clearing

Horizon	0-20 cm	20-40 cm
Argile (%)	3 à 4	4 à 6
Limons (%)	13 à 16	13 à 18
Sables (%)	80 à 84	76 à 83
pH eau	6,2 à 6,5	6 à 6,4
Mat. organiques (%)	1,4 à 1,6	0,6
Azote total (%)	0,2 à 0,3	0,1 à 0,2
Capacité échange de cations (méq/100 g)	2,3 à 3,2	1,9 à 3,3

LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

La quantification des effets des techniques culturales a été réalisée sur 57 parcelles d'érosion classiques, composées d'un champ expérimental de 5 à 18 m de largeur, de 20 à 100 m de longueur, de 100 à 1 000 m² de surface, d'un canal collecteur retenant les sédiments grossiers, et de deux cuves de stockage des eaux et des suspensions fines reliées par un partiteur permettant d'évaluer 42 m³ de ruissellement (ROOSE, 1991 b).

La comparaison des bilans d'eau, des charges solides, ainsi que de la production de biomasse, est réalisée dans trois situations, sur deux toposéquences voisines :

- une savane arborée, dont le sol est en jachère depuis plus de trente ans (pente de 2 %) ;
- une jeune défriche cultivée depuis 1990 (blocs A, B et C, pentes de 1 %, 2 % et 2,5 %) ;
- une vieille défriche, dégradée et déclassée après trente ans de culture (bloc D, pente de 2,5 %).

Le dispositif comporte en outre six pluviomètres, deux pluviographes à augets à rotation journalière, un bac d'évaporation enterré et six lysimètres de sol reconstitué sur 0,5 à 0,9 m de profondeur.

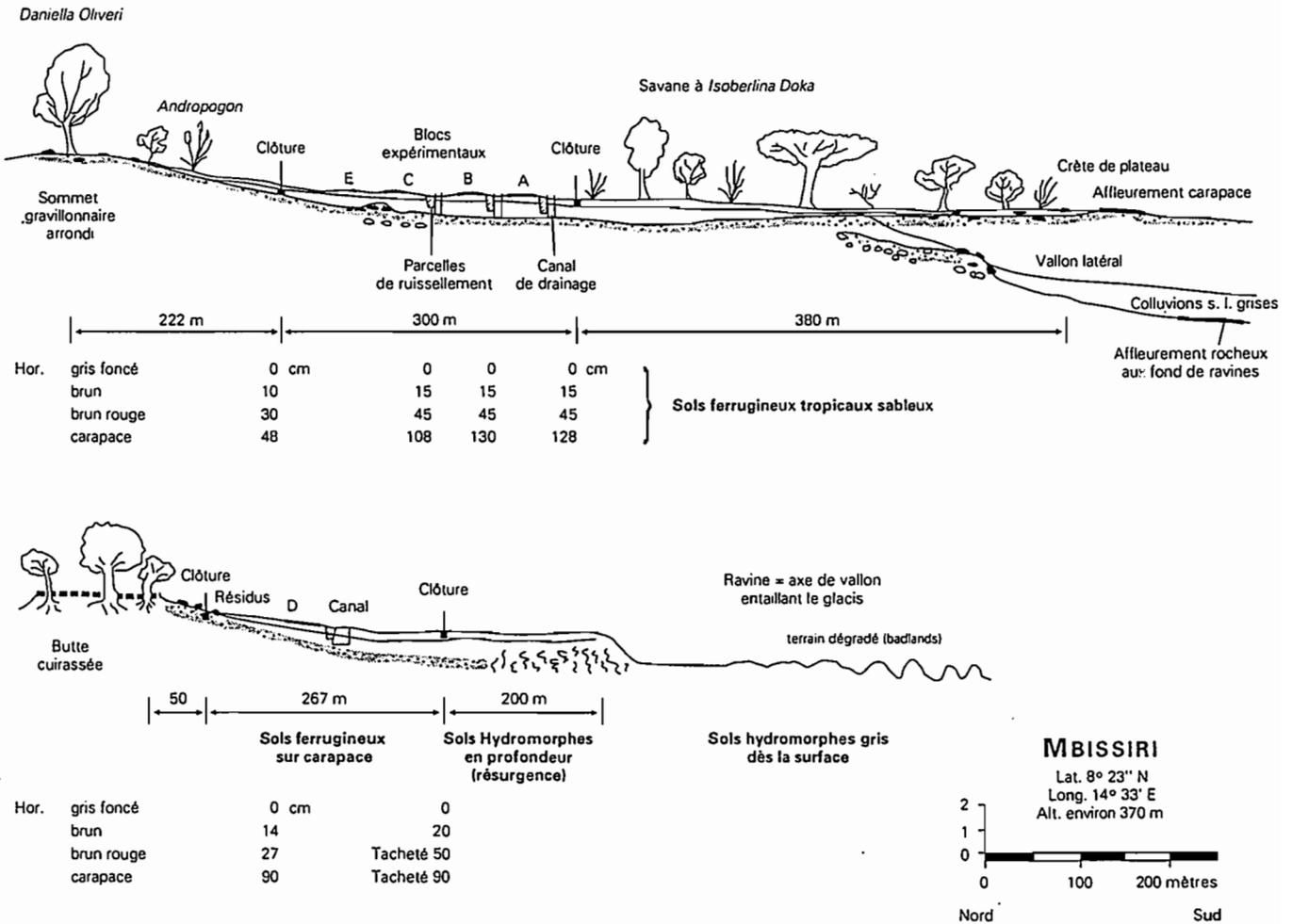


FIG. 5. — Toposéquences de Mbissiri (Nord-Cameroun).
Toposequences at Mbissiri (Northern Cameroon).

LES TRAITEMENTS

Les comparaisons concernent les traitements suivants :

- Savane arborée :
 - totalement protégée ;
 - brûlée précocement (un à deux mois après la dernière pluie utile) ;
 - brûlée précocement et pâturée (un mois après le retour des pluies).
- Témoin international : sol nu labouré une fois l'an et sarclé dans le sens de la pente ; il permet de calculer la résistance du « matériau sol » à l'érosivité des pluies.
- Témoin régional : labour mécanisé + NPKSB + urée, sarclage et buttage dans le sens de la pente, pour simuler les situations les plus difficiles et accélérer les processus de dégradation incriminés.

• Des variantes du témoin régional portant sur la densité et la gestion des matières organiques :

- résidus de culture enfouis en début de saison des pluies ;
- enfouissement de 3 t/ha/an de fumier de chèvre ou de terre de parc ;
- paillage d'herbes locales (*Andropogon*) après labour à raison de 5 t/ha/an (en humide) qui absorbe à la fois l'énergie des pluies et du ruissellement et qui apporte au sol des matières organiques stabilisantes ;
- ombrière en plastique tendue à 10 cm du sol qui n'absorbe que l'énergie des gouttes de pluies ;
- densité double de semis (40 cm x 25 cm au lieu de 80 cm x 25 cm).

- Travail réduit du sol + herbicides (Gramoxone + Round Up, 3 l/ha) :
 - travail à la houe réduit à l'ouverture du poquet pour enfouir les engrais (*no tillage*) ;
 - travail continu sur la ligne de semis aux dents ou à la pioche sur 10 à 15 cm (*minitillage*) ;
 - variantes : sarclage manuel ou chimique (peu de différence sur l'érosion).
- Restauration des sols dégradés (bloc D) :
 - labour profond + NPKSB ;
 - labour profond + NPKSB + biomasse de sorgho vigoureux ;
 - labour profond + NPKSB + résidus de culture enfouis ;
 - labour profond + NPKSB + fumier enfoui ;
 - deux années de jachère naturelle herbacée ;
 - deux années de jachère améliorée par le semis d'une légumineuse (*Calopogonium mucunoides*).
- Effet de la longueur de pente et de sa réduction par des « microbarrages perméables » :
 - 24 parcelles de 20 m et 8 de 40 m de longueur en blocs A, B et D ;
 - 6 parcelles de 60 m en bloc C et 2 parcelles de 100 m en bloc D ;
 - bandes enherbées de 1 m tous les 10 m ;

— haies vives de 2 m de largeur tous les 20 m (*Cassia siamea* + *Cajanus cajan* + herbes diverses).

Toutes les parcelles cultivées ont reçu la même fertilisation minérale. La rotation est bisannuelle et comprend le coton en 1991 (après un semis direct de maïs sur défriche manuelle en 1990) suivi d'un maïs en 1992. Le maïs reçoit en plus 5 kg/ha de sulfate de zinc. Le labour a été effectué avec une charrue à deux socs tirée par un tracteur de 80 ch, à l'exception des parcelles avec bandes d'arrêt ou haies vives qui ont été labourées aux bœufs. Le « *minitillage* » a été réalisé au cultivateur à dents rigides (7 à 10 cm).

En 1991, toutes les parcelles en travail minimal du bloc D ont été travaillées au cultivateur dans le but de décompacter le sol dégradé par plusieurs années de culture. L'outil s'est avéré mal adapté au sol compacté, car il n'a pas permis un bon enracinement du coton, ni du maïs qui l'a suivi. Sur les blocs A et B, une trop faible poussée des adventices n'a pas permis de disposer de suffisamment de biomasse pour protéger les parcelles en travail minimal. En revanche, des pailles de *Andropogon* et de *Pennisetum* ont servi au traitement « paillage sur labour » des blocs A, B et D.

Le tableau II donne d'autres éléments de la conduite de la culture.

TABLEAU II
Principaux éléments sur la conduite culturale des parcelles d'érosion de Mbissiri
Main elements concerning the cultural behaviour of runoff plots at Mbissiri

Traitement	1991	1992
Plante test	Cotonnier	Maïs
Labour	Charrue à socs tractée	Charrue à socs tractée
Date de labour	5/7 (D), 6/7 (A, B), 7/7 (C)	18/6 (A, B, C, D)
Herbicide total + herbicide de pré-émergence	Round Up et Gramoxone (4 l/ha)	Round Up et Gramoxone Lasso à 6l/ha ou Atrazine
Date de semis	10/7 (D), 16/7 (A, B), 18/7 (C)	20/6 (D), 22/6 (A, B), 23/6 (C)
Densité normale	83 cm x 25 cm	83 cm x 25 cm
Densité double	41,5 cm x 25 cm	41,5 cm x 25 cm
Engrais	100 kg/ha NPKSBo (15, 20, 15, 6,1) + 50 kg/ha urée au semis et + 50 kg/ha urée 30 j après semis	Idem + 5 kg/ha de sulfate de zinc
Fumure organique	6 t/ha de terre de parc à bœufs après labour	3 t/ha de fèces séchées à l'air de caprins et ovins avant labour

RÉSULTATS

Les précipitations

Les précipitations pluviométriques des deux premières années à Mbissiri (1 174 et 1 513 mm) ont des hauteurs qui se situent de part et d'autre de la moyenne régionale sur 37 ans observée à Tcholliré, situé 45 km plus à l'ouest, et à Touboro, à 125 km au sud-est (tabl. III).

TABLEAU III

Pluviosité mensuelle à Mbissiri en 1991-1992 comparée aux moyennes mensuelles de Tcholliré (1952-1990) et de Touboro (1952-1989)
Monthly rainfall at Mbissiri in 1991-1992 as compared to the monthly means at Tcholliré (1952-1990) and at Touboro (1952-1989)

Mois	MBISSIRI		TOUBORO	TCHOLLIRE
	1991	1992	1952-1989	1952-1990
Mars	7	0	16,5	11,1
Avril	22	85,5	65,2	52,6
Mai	185	86,5	113,3	124,6
Juin	52	188,4	159,6	175,9
Juillet	387	255	242,8	269,8
Août	315	413,3	313,9	305,8
Septembre	144	316,5	240,7	214,6
Octobre	61,9	168	94,0	91,5
Novembre	-	-	5,1	2,9
	1 173,9	1 513,2	1 251,1	1 275,8

Les périodes dangereuses, les plus humides, se situent entre le 15 juin et le 15 septembre, selon les années. Des périodes déficitaires de deux à trois semaines sont fréquentes en juin et juillet. En ce qui concerne l'érosion, on observe de nombreuses pluies agressives de 60 à plus de 100 mm par jour chaque année. Mais les événements les plus érosifs paraissent liés à des séries d'averses entre mi-juin et mi-septembre.

En 1991, la campagne a démarré tardivement, entre le 10 et le 16 juillet : les pluies enregistrées durant le cycle cultural ont atteint 774 mm. En 1992, la campagne a démarré plus tôt (du 20 au 23 juin) et les précipitations durant le cycle ont atteint 1 184 mm.

Dans la zone soudanienne, avec une seule saison pluvieuse de sept mois, il est difficile de conduire deux cycles de culture pluviale sur la même parcelle. Cependant, la longueur de la saison des pluies permet le choix de la date de semis pour la plupart des espèces cultivées. La Sode-

coton conseille de semer tôt le cotonnier pour qu'il profite du pic de minéralisation et produise au maximum : malheureusement, le coton arrive à maturité quand les pluies sont encore importantes et les fibres peuvent être salées et déclassées. Le semis tardif donne une production moindre mais de meilleure qualité. Du point de vue de la conservation des sols, les semis retardés jusqu'au début de juillet permettent d'obtenir une production suffisante de biomasse, à partir des adventices ou des plantes de couverture, pour qu'elle puisse servir de paillage dans les systèmes de préparation conservatoire du sol.

Les effets catastrophiques des grosses averses et des séries de pluies en juillet-août qui sont à l'origine d'importants phénomènes de circulation de ruissellement et de terre pourraient être invoqués pour justifier les pratiques des paysans de la région, qui ont tendance à semer et à butter de préférence dans le sens de la pente. En effet, le buttage en courbe de niveau entraîne des ruptures de billons et la formation de ravineaux et de coulées de sable à l'occasion de ces gros orages. Il faut donc préciser les effets du billonnage en courbe de niveau avant d'engager les paysans à changer de pratique.

Le ruissellement (fig. 6 et 7)

En savane, sur 45 pluies de plus de 5 mm de hauteur, seulement 16 ont produit un ruissellement significatif sur la parcelle en défens tandis que 27 ont ruisselé sous savane brûlée et pâturée. Le ruissellement maximal varie de 3 à 10 % au terme d'une série de cinq pluies d'une hauteur cumulée de 160 mm. Le ruissellement annuel moyen dans le milieu naturel a varié entre 0,7 et 3 %.

En milieu cultivé, le ruissellement est très variable : le coefficient de ruissellement annuel moyen varie de 1 à 58 %, mais on peut regrouper l'ensemble des résultats en six familles de comportements :

— les parcelles labourées non protégées ruissent plus que toutes les autres : le coefficient de ruissellement annuel moyen (K_{ram}) varie de 39 à 58 % et le ruissellement maximal (K_{rmax}) de 60 à 95 % des pluies journalières, selon que les parcelles sont cultivées ou dénudées ;

— les parcelles labourées protégées par un paillage ou par une ombrière ruissent plus modérément ($K_{ram} = 17$ à 32 % ; $K_{rmax} = 45$ à 60 %) ;

— le billonnage cloisonné a contrôlé efficacement le ruissellement ($K_{ram} < 5$ %), y compris durant une pluie de 110 mm, sans qu'on observe de rupture de billon trop grave ;

— les parcelles cultivées sans labour sous paillis (*no tillage*) ont subi un très faible ruissellement ($K_{ram} < 10$ % ; $K_{rmax} = 30$ %) ;

— quant aux parcelles en jachère naturelle ou améliorée par une légumineuse, elles se comportent presque aussi bien que la savane ($K_{ram} < 4$ % ; $K_{rmax} < 12$ %) ;

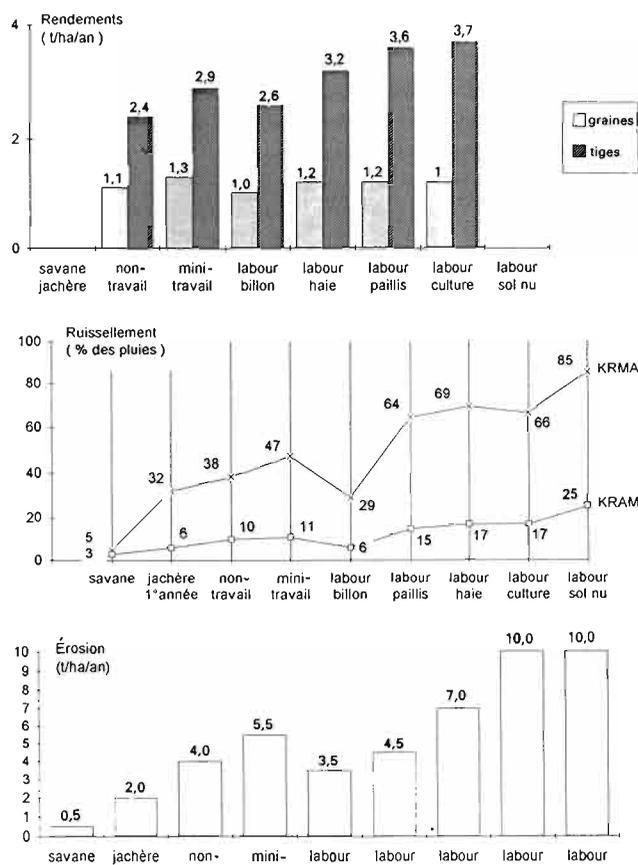


FIG. 6. — Synthèse de la campagne 1991 à Mbissiri des mesures de rendement en coton (t/ha), de ruissellement (Kram et Krmax en % des pluies) et de pertes en terre (sédiments en t/ha/an).
 Synthesis of the 1991 campaign at Mbissiri concerning the measurements of cotton yield (t/ha), runoff (Kram and Krmax % of rainfall) and soil losses (sediments in t/ha/year).

— les haies vives et les bandes enherbées semblent efficaces pour les averses modérées. Elles jouent un rôle de filtre pour les événements les plus importants (Kram = 10 à 20 % ; Krmax varie de 30 à 40 %).

On note que, sur les parcelles labourées, les ruissellements de 1991 n'atteignent que la moitié de ceux de 1992. Cela pourrait s'expliquer par une pluviosité plus importante en 1992 et une saturation du sol plus fréquente.

On a observé que les ruissellements sont les plus forts au bloc D car le sol est plus compact et moins profond au-dessus de la carapace ferrugineuse que dans les autres blocs.

L'efficacité du paillage sur les parcelles, travaillées ou non, est liée non seulement à l'interception de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et du ruissellement et à la rugosité de la surface du sol, mais aussi à la macroporosité créée par la mésosofaune du sol, notamment par les vers de terre : on a observé six à dix fois plus de turricules de

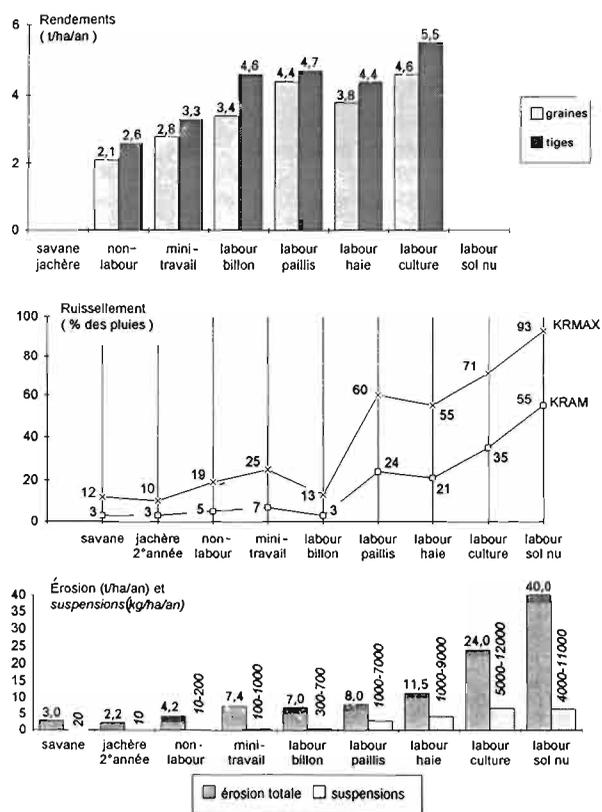


FIG. 7. — Synthèse de la campagne 1992 à Mbissiri des mesures de rendement en maïs grain et paille (t/ha/an), de ruissellement (Kram et Krmax en % des pluies) et de pertes totales en terre et suspensions (t/ha/an).
 Synthesis of the 1992 campaign at Mbissiri concerning the measurements of maize grain and straw yield (t/ha/year), of runoff (Kram and Krmax % of rainfall) and of total soil and suspension losses (t/ha/year).

vers de terre sur les parcelles couvertes de litière que sur celles qui sont labourées (fig. 8).

Sous ombrière, laquelle amortit l'énergie des gouttes de pluie, le ruissellement est loin d'être négligeable ; il semble que, sur ces sols sableux très fragiles, le tassement et la réorganisation de la surface du sol puissent se faire par simple humectation.

L'érosion (fig. 6 et 7)

Les pertes en terre varient de 1 à 50 t/ha/an selon la couverture végétale, les techniques culturales et la pente.

En savane, les pertes en terre ($E \leq t/ha/an$) sont plus élevées que celles observées par ROOSE (1980) en Afrique de l'Ouest. On peut évoquer trois raisons à cette différence : des pluies plus abondantes, une forte activité biologique et le piétinement de la zone dénudée voisine du canal lors de la construction du dispositif (projection directe dans le canal).

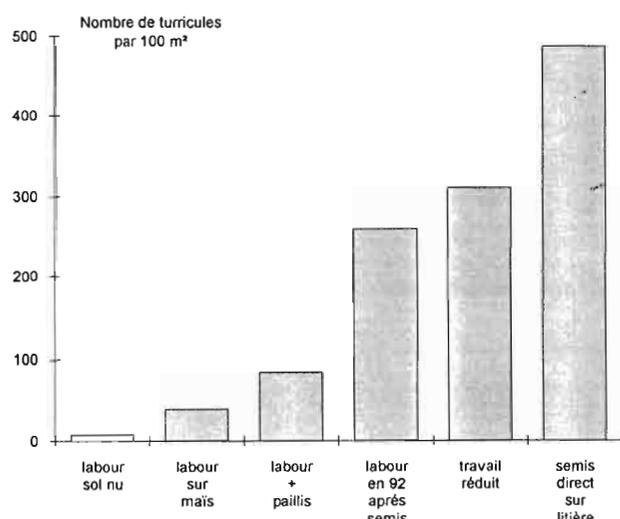


FIG. 8. — Nombre de turricules par 100 m² observé sur les parcelles d'érosion de Mbissiri le 2 août 1993.
Number of worm casts per 100 m² observed in runoff plots at Mbissiri on August 2nd, 1993.

EFFETS DU TRAVAIL DU SOL

Sous culture, les pertes en terre varient de 2 à 7 t/ha/an sur les parcelles non travaillées et de 5 à 27 t/ha/an sur les parcelles labourées.

Le tableau IV permet de comparer les pertes en terre sur les parcelles labourées et sur celles avec travail minimal ou nul. Il montre qu'on perd 1,5 à 10 fois plus de terre dans les parcelles labourées que dans celles qui sont paillées et non travaillées. Plus grave, les pertes en particules fines en suspension sont elles aussi nettement plus fortes sous labour (suspensions : 4 à 10 t/ha/an) que sur les parcelles couvertes par les résidus de culture et peu travaillées

(suspensions : 0,1 à 1 t/ha/an). On peut cependant réduire les pertes en terre de 40 à 75 % sur les parcelles labourées en les protégeant par l'épandage de 5 t/ha de litière.

L'épandage de paille sur un terrain labouré est un exemple de travail du sol conservatoire à condition que la biomasse couvre au moins 30 % de la surface du sol après le semis (DICKEY et SHELTON, 1987). Mais le problème est de récolter du paillage et de l'épandre sur un terrain labouré sans que cela entraîne des coûts prohibitifs. Or, dans la zone soudanienne, la longueur de la saison des pluies n'est pas un facteur limitant. Les observations dans le Sud-Est-Bénoué nous amènent à penser qu'il existe en milieu paysan des méthodes permettant de concilier un labour tardif et la présence d'adventices couvrant naturellement le sol pendant le début de la saison des pluies. Lorsque les adventices atteignent 20 à 30 cm de hauteur (mi-juin), les paysans font un labour qui n'enfouit pas totalement les herbes ; ils sèment ensuite sur les raies de labour. Après la levée, les paysans procèdent au premier désherbage qui consiste à arracher les adventices et à les étaler sur le sol entre les lignes de semis. Cette technique traditionnelle pourrait être perfectionnée afin d'obtenir à la fois les effets positifs du labour et du paillage. Une autre amélioration consisterait à tuer chimiquement les herbes par un herbicide de contact avant de réaliser le labour.

Le billonnage cloisonné avant le semis s'avère une technique intéressante du point de vue de la conservation de l'eau et du sol ($E = 0,1$ à $2,1$ t/ha/an dans le bloc C). Cependant, il exige beaucoup de travail lors de la préparation du sol et entraîne une réduction des rendements de 10 à 40 % car les pieds de cotonnier se déchaussent à mesure que les billons s'érodent. Cette méthode, très intéressante en zone plus sèche, ne nous paraît donc pas bien adaptée à la zone soudanienne.

TABLEAU IV
 Érosion (t/ha/an) en fonction
 de quatre modes de préparation du sol
Erosion (t/ha/year) as related to four types of soil tillage

Bloc		Labour Résidus exportés	Labour + paillage	Minitillage* Travail limité ligne	No tillage* Semis direct
A (100 m ²)	1991	9,2	2,2	6,7	6,3
	1992	8,9 + (4,8)	5,3 + (1,3)	4,6 + (0,1)	6,1 + (0,1)
B (100 m ²)	1991	8,2	5,7	6,8	6,7
	1992	16 + (4,6)	4,2 + (1)	13 + (0,3)	7,6 + (0,1)
C (1 080 m ²)	1991	5,1	-	-	0,5
	1992	14,9 + (5,8)	-	-	2,2 + (0,3)
D (100 m ²)	1991	20,1	5,6	2,9	3,0
	1992	27 + (10,6)	6,1 + (6,6)	3,5 + (1)	3,4 + (0,1)

* Les traitements en A et B avaient très peu de mulch.
 Les chiffres entre parenthèses indiquent les pertes en suspensions (en t/ha/an).

L'ÉRODIBILITÉ DU SOL

On ne dispose pas encore de toutes les données nécessaires au calcul précis de l'érodibilité du sol. En particulier, il nous manque l'indice d'érosivité des pluies, et la parcelle n'a pas encore trois années de culture. À titre indicatif, on peut cependant estimer les valeurs suivantes (ROOSE, 1977) :

$$K = \frac{E \text{ (t/ha/an)}}{R \times LS \times 2,24} \quad \text{où} \quad R = \frac{H \text{ pluies (mm)}}{2}$$

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

Les valeurs de l'indice K d'érodibilité ont été très faibles en 1991, première année de culture après défrichage (tabl. V).

Cela s'explique :

- par la mise en culture tardive et la faible agressivité climatique ;
- par la concavité des parcelles nues juste avant le canal de sédimentation ;
- par le rôle stabilisant du chevelu racinaire des graminées de la jachère précédente.

En 1992, les parcelles sont déjà beaucoup plus fragiles (K = 0,07 ; 0,18 ; 0,24) et on s'attend à des valeurs encore plus fortes pendant les deux cycles suivants.

TABLEAU V
Érodibilité des sols durant les deux premières campagnes
Soil erodibility during the first two campaigns

Bloc	Pente moyenne	1991	1992
A	1	0,09	0,07
B	2	0,06	0,24
D	2,5	0,07	0,18

Curieusement, l'érodibilité de la parcelle dégradée (bloc D) n'est pas supérieure à celle du bloc B de la jeune

défriche : cela pourrait s'expliquer par un labour profond qui a remonté en surface une terre plus argileuse et plus résistante dans le bloc D.

L'évolution des indices d'érodibilité ne dépend pas seulement de l'âge de la mise en culture des parcelles, mais aussi du degré d'intervention technique. Le labour motorisé, en supprimant dès la première année toute la charpente racinaire des ligneux et surtout des herbes annuelles, et en exerçant des pressions importantes sur le sol, produit en deux ans une dégradation du sol obtenue seulement après plusieurs années sur les parcelles ayant connu des interventions manuelles.

À Séfa, au Sénégal, sur un sol ferrugineux tropical lessivé, l'indice d'érodibilité est passé de 0,07 à 0,17 dès la deuxième année (ROOSE, 1967).

À Saria, au Burkina, sur un sol ferrugineux tropical lessivé plus riche en argile, l'indice d'érodibilité du sol a atteint les valeurs annuelles suivantes : 0,07 ; 0,17 ; 0,30 ; 0,25, etc.

Les ordres de grandeur sont donc très voisins pour ces trois sols ferrugineux sableux cultivés (ROOSE *et al.*, 1978).

EFFET DE LA GESTION DES MATIÈRES ORGANIQUES

On a comparé l'effet des matières organiques sous forme de résidus enfouis, de pailles déposées à la surface du sol (5 t/ha) et de fumier à raison de 3 t/ha/an.

On peut observer (tabl. VI) que le ruissellement et l'érosion sont du même ordre de grandeur, qu'il s'agisse de fumier ou de résidus enfouis. Au bout de deux ans, ces deux traitements n'ont guère amélioré la résistance du sol à la battance des pluies par rapport au témoin régional (labour sans résidus). En revanche, on a vu que le paillage réduit souvent le ruissellement et l'érosion à moins de 50 %. Cependant, en deuxième année, l'enfouissement de 3 t/ha/an de fumier de chèvre donne souvent les meilleurs rendements en maïs, d'autant plus élevés que l'érosion est faible sur la parcelle concernée (c'est-à-dire lorsque la fumure organique est conservée sur la parcelle).

TABLEAU VI
Ruissellement (Kram), érosion et rendements
Runoff (Kram), erosion and yields

Année	Ruissellement (Kram %)				Érosion (t/ha/an)				Rendement (t/ha/an)			
	Labour convert.	Lab.+ résidus enfouis	Labour + fumier	Labour + paille	Labour convert.	Lab. + rés. enfouis	Labour + fumier	Labour + paille	Labour convert.	Lab. + rés. enfouis	Labour + fumier	Labour + paille
1991 (coton)												
A	17,7	19,2	16,2	15,1	9,4	7,5	7,1	2,6	0,9	0,8	1,2	0,8
B	14,2	22,8	18,3	11,8	8,9	7,0	8,7	5,6	1,25	1,3	1,25	1,4
D	15,1	17,6	14,1	16,7	21,7	21,9	15,3	6,6	1,57	1,1	1,15	1,0
1992 (maïs)												
A	32,2	36,2	34,1	15,9	10,3	6,4	6,3	6,0	5,2	5,4	9,6	4,1
B	30,3	39,7	38,1	15,1	10,4	26,2	21,1	4,0	4,8	4,1	5,8	4,9
D	32,6	46,1	40,9	33,3	21,4	28,2	31,4	7,0	4,65	5,25	5,3	4,05

L'effet du fumier a été spectaculaire sur les rendements du maïs au bloc A (9,6 t/ha/an). Sur les autres blocs, les gains de rendement sont d'autant plus faibles que les pertes en terre sont fortes. Les améliorations du rendement provenant de l'apport de fumier de chèvre ne s'expliquent pas seulement par sa richesse en éléments fertilisants (3 % d'azote), mais aussi par l'amélioration de la structure et le stockage d'eau dans le sol.

EFFET DE LA LONGUEUR DE PENTE

D'après le modèle de WISCHMEIER et SMITH (1978), on doit s'attendre à une augmentation significative de l'érosion lorsque la pente passe de 20 à 40, 60 et 100 m de longueur. On peut observer (tabl. VII) que l'érosion n'augmente pas systématiquement avec la longueur de pente lorsque le sol est labouré et qu'elle a même tendance à régresser sur les parcelles soumises au semis direct dans la litière.

TABLEAU VII
Effet de la longueur de la pente, effet d'échelle et influence des haies
Effect of slope length, scale effect and influence of fences

Bloc	Pente (%)	Surface (m ²)	Longueur (m)	Érosion labour		Érosion no tillage		
				coton 1991	maïs 1992	coton 1991	maïs 1992	
A	1	100	5 x 20	9,2	8,9	6,3	6,1	
	1	200	5 x 40	6,1	4,6	3,9	3,3	
B	2	100	5 x 20	8,2	16,0	6,7	7,6	
	2	200	5 x 40	7,4	17,0	-	4,0	
C	2,5	1 080	18 x 60	5,1	14,9	0,5	2,2	
	+ haie vive	2,5	1 080	18 x 60	-	6,1	-	-
D	2,5	100	5 x 20	20,1	27,0	3,0	3,4	
	+ haie vive	2,5	500	5 x 100	-	21,0	-	-
	+ haie vive	2,5	1 000	10 x 100	-	-	-	2,3

EFFET DES HAIES VIVES

Dès la deuxième année, le cloisonnement des parcelles par des haies vives (ou des bandes enherbées) de 2 m de largeur tous les 20 m est aussi efficace que le paillage en ce qui concerne l'érosion ($E < 3$ t/ha/an dans les blocs A, B et C). Les bandes d'arrêt couvertes d'un tapis de litière ou de graminées retiennent surtout les sables : d'où la formation d'un petit talus. Ce n'est que lors des plus grosses averses que l'on constate encore des pertes significatives en eau et en suspensions fines au-delà des haies. Cependant, on observe souvent des mares temporaires en amont des haies vives. Le facteur C de Wischmeier varie de 0,17 à 0,41 pour des parcelles cultivées de 40 m de longueur, avec des haies arbustives tous les 20 m sur des pentes de moins de 2,5 %.

L'EFFET D'ÉCHELLE

Il est important de savoir à quel point les mesures effectuées sur des petites parcelles de 100 m² sont extrapolables aux champs paysans (1 000 à 2 500 m²). Pour ce faire, nous comparons dans le tableau VII les pertes en terre obtenues pour 100, 200 et 1 000 m² sur les blocs A, B et C (jeunes défriches) et sur le bloc D (vieille défriche).

On constate sur les parcelles labourées que l'érosion ne croît pas de façon systématique, tout au moins les deux

premières années. Sur les parcelles non travaillées avec litière, l'érosion a même tendance à diminuer lorsque la taille de la parcelle augmente ! Il y a probablement des interactions entre le système de culture (la stabilité et la rugosité de la surface du sol) et l'effet d'échelle. Par ailleurs, le ruissellement reste du même ordre de grandeur. Tant que la rugosité du sol due au labour et surtout à la litière empêche la vitesse de la nappe de ruissellement de s'accélérer, l'érosion ne peut croître avec la longueur de la pente, surtout sur ces pentes douces (1 à 2,5 %).

L'effet d'échelle est donc peu évident entre 100 et 1 000 m², mais il faut attendre confirmation de ces résultats pour les années suivantes et, de plus, rester prudent dans l'extrapolation des résultats de la parcelle expérimentale aux blocs de culture (100 ha) et aux bassins versants.

EFFET DU COUVERT VÉGÉTAL

Le couvert développé par les cultures de coton et de maïs réduit l'érosion des parcelles nues de 40 à 70 %. Le facteur C du modèle de WISCHMEIER et SMITH (1978) varie de 0,6 à 0,3 selon la vitesse de recouvrement du sol par la culture (et les adventices). Cela démontre la faiblesse du couvert végétal de ces cultures, tout au moins durant les deux premiers mois de leur croissance.

Les parcelles couvertes de paillis et d'ombrière se comportent de façon très comparable. L'érosion est donc dépendante non seulement de l'énergie de la battance des pluies mais aussi de l'énergie du ruissellement, non négligeable au cours des pluies importantes. En l'absence de l'impact des gouttes de pluie sur les mottes (sous ombrière), la réduction de la rugosité initiale du sol est plus lente. La dégradation des mottes est alors due à la simple humectation de ces sols sableux ainsi qu'au frottement de la lame ruisselée entre les mottes.

La production végétale

Le tableau VIII montre que les rendements en coton graine, en 1991, et en maïs grain, en 1992, sont bien supérieurs (10 à 40 %) sur labour que sur non-labour avec paillage. Les rendements sur parcelles non labourées et non dégradées sont égaux ou supérieurs à ceux des parcelles labourées quand la litière est peu abondante (ex. : blocs A et B, en 1991, coton).

TABLEAU VIII
Rendements comparés (q/ha) en coton graine et maïs grain des parcelles d'érosion sur labour et semis direct sous litière (Mbissiri, 1991-1992)
Compared yields (hundredweights/ha) in cottonseed and grain maize observed in runoff plots on ploughing and direct drilling under litter (Mbissiri, 1991-1992)

Année	Traitement	BLOC			
		A	B	C	D
1991 (coton)	Labour	8,5	12,6	12,4	13,5
	Semis direct*	14,2*	14,8*	8,2	5,0
1992 (maïs)	Labour	51,3	49,2	38,0	50,6
	Semis direct*	24,6*	26,3*	18,0	10,6

*paillage insuffisant sur les blocs A et B.

En 1991, la faible productivité des parcelles non travaillées semble due partiellement à la présence d'un épais paillage de *Andropogon* sur le bloc C et de *Dactyloctenium* sur le bloc D, contrairement aux blocs A et B peu paillés. Sous paillage, on note un jaunissement des plants de coton qui traduit une faim d'azote au terme du premier mois après le semis. On observe ensuite une faible croissance végétative. La faim d'azote est souvent expliquée par l'immobilisation microbienne de cet élément en présence d'une biomasse biodégradable. Cependant, il est aussi possible que l'augmentation de l'infiltration sur la parcelle couverte de paillis entraîne une augmentation des pertes d'azote dans les eaux de drainage ou encore crée des conditions d'engorgement, de lixiviation et de dénitrification. Ce jaunissement des plants fut aussi observé sur la parcelle labourée et paillée du bloc D. La baisse de rendement dans ce cas semble être liée à la répartition des pluies, à l'espèce végétale cultivée, à la quantité de paillis et au tassement du sol.

Sur le bloc D, l'observation des profils racinaires du maïs a montré que la principale contrainte à la productivité sur les parcelles non travaillées est la compacité du sol qui entraîne un mauvais enracinement (fig. 9). La productivité du sol est avant tout fonction des caractéristiques qui affectent le développement du système racinaire des cultures. Le tableau VIII montre que, après décompaction du sol, le potentiel de productivité du bloc D (dit dégradé) reste équivalent à celui de la nouvelle défriche. La dégradation physique superficielle du sol n'est pas synonyme de dégradation de son potentiel de productivité. Elle traduit une forte instabilité à l'eau des agrégats et une faible résistance à la battance. Cet état devient une contrainte à la production végétale lorsqu'il est associé aux facteurs qui favorisent une érosion intolérable.

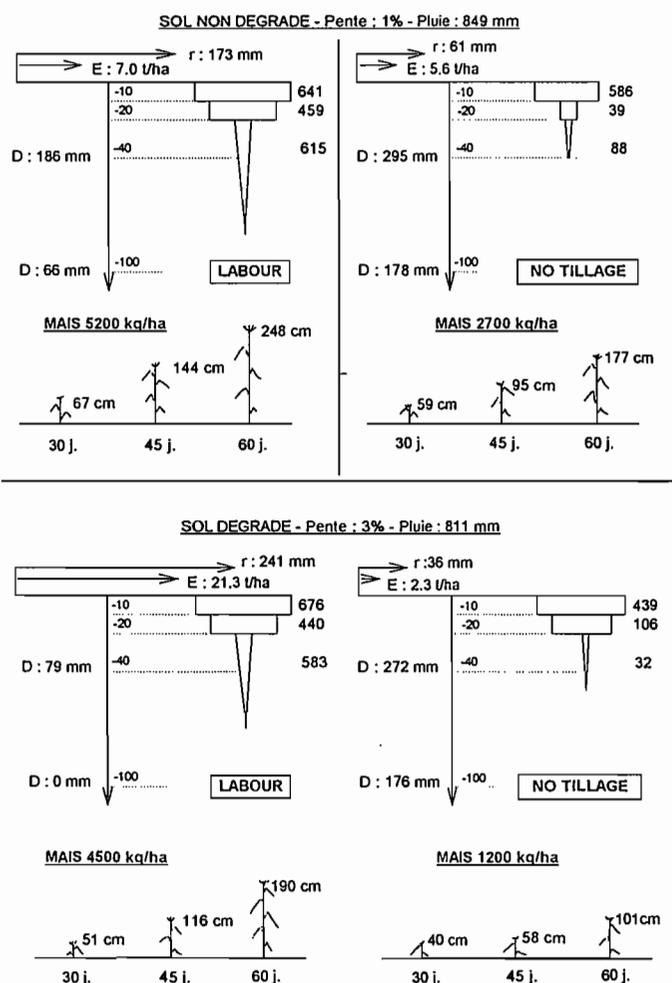


FIG. 9. — Bilan hydrique, rendements, enracinement et érosion. Comparaison du système labour conventionnel et du semis direct sur les blocs « dégradés » (D) et « non dégradés » (A) à Mbissiri. D'après SANON, 1992.

Water balance, yields, rooting and erosion. Comparison between the conventional ploughing system and direct drilling in « degraded » (D) and « non degraded » (A) blocks. Mbissiri. After SANON, 1992.

La productivité végétale varie en fonction du sol ; les blocs A, B et C sont installés sur la même toposéquence, mais les rendements diminuent à mesure que l'épaisseur de l'horizon meuble se réduit. Elle est fonction des capacités de stockage du sol en eau et en nutriments.

ÉVOLUTION DU PH ET DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

En février 1991, 48 échantillons de sol (0-10 cm) ont été prélevés pour caractériser l'hétérogénéité de sa fertilité en fonction de son histoire (tabl. IX).

Les taux de matière organique et d'azote sont très faibles (C/N = 10) sur ces sols ferrugineux tropicaux très sableux, peu acides. La vieille jachère, brûlée et pâturée régulièrement depuis plus de trente ans, a peu amélioré la situation : il ne faut donc pas trop compter sur la jachère naturelle courte pour régénérer la fertilité des sols dégradés (ROOSE, 1993). Le fumier accumulé sur les lieux de parcage de nuit du bétail a amélioré l'état du sol : la production de maïs de 1990 y est bien meilleure qu'ailleurs. Cependant, c'est la mésafaune (les vers de terre et les termites du genre *Trinervitermes*) qui concentre les matières organiques à la surface du sol. La faune a donc un rôle important à jouer dans le bilan des matières organiques.

TABLEAU IX

Variabilité du pH et des teneurs en carbone et azote des dix premiers centimètres du sol en février 1991 à Mbissiri
Variability of pH and carbon and nitrogen contents in the first ten centimeters of soil in February 1991 at Mbissiri

	% Matière organique	N	pH eau	pH KCl
Termitières de <i>Trinervitermes</i>	1,9	0,12	6,6	5,9
Turricules frais de vers de terre	1,8	0,06	7,0	6,3
Ancien parc de nuit des animaux	1,6	0,08	6,9	6,0
Vieille jachère de plus de 30 ans	1,2	0,06	7 à 6	6,3 à 5,3
Jeune défriche de 2 ans	1,1 à 0,5	0,05	6,9 à 5,7	5,9 à 4,7
Vieille défriche cultivée > 30 ans	0,5 à 0,4	0,01	6,6 à 5,3	5,7 à 4,3

CONCLUSION

Dans la zone soudanienne observée, les événements pluvieux les plus décisifs pour la conservation de l'eau et de la fertilité des sols sont des séries de pluies et des averses de plus de 60 mm par jour qui peuvent tomber lors de chacun des mois de juin, juillet, août et septembre. L'agressivité des pluies est particulièrement dangereuse en juin et juillet lorsque les sols ne sont pas encore couverts par les cultures.

Les sols ferrugineux sableux de cette zone sont très fragiles, à la fois vis-à-vis de l'agressivité des pluies, de l'énergie du ruissellement et de certaines techniques culturales qui dénudent les sols, appauvrissent l'horizon cultivé en biomasse et en argile et, enfin, accélèrent leur dégradation physique par la battance, la minéralisation des matières organiques humifiées, l'humectation et le tassement.

Sous savane soudanienne, les pertes en eau, en suspensions fertiles et en terre sableuse sont très réduites. En milieu cultivé, ces pertes dépendent des techniques culturales. Celles qui maintiennent une litière sur le sol favorisent l'infiltration et la lixiviation, mais réduisent l'érosion. Par contre, le labour classique expose le sol à la battance des gouttes de pluie, provoque un ruissellement abondant sur la surface encroûtée du sol et une érosion si grave qu'elle risque d'entraîner à moyen terme une baisse significative de la productivité des terres. La dégradation

physique dépasserait certains seuils au-delà de douze à quinze ans.

Durant les deux premières années, le labour conventionnel a donné les meilleurs rendements tandis que le travail réduit du sol a favorisé l'infiltration et réduit l'érosion. Il nous faut donc contrôler l'un et l'autre, soit en améliorant le travail du sol sur la ligne de plantation, soit en couvrant le labour (paillis ou plantes de couverture), soit encore en cloisonnant la pente par des « microbarrages perméables » tous les vingt mètres. Le billonnage cloisonné ne semble pas une bonne solution pour ces zones très humides à cause du déchaussement des plantules.

La dégradation du sol pour un agronome est essentiellement d'ordre économique : lorsque les intrants ne sont plus remboursés par un rendement suffisant, la parcelle est déclassée.

Pour le pédologue, la dégradation physique du sol se manifeste par sa fragilité à la battance et par la formation d'horizons peu perméables, tassés en surface ou au fond du labour. Cette dégradation physique ne réduit la productivité végétale que lorsque sont réunies les autres conditions de développement d'une érosion dangereuse (pente trop longue ou trop forte, surface du sol dénudée et fragilisée, pluies érosives, etc.).

Durant les deux années d'observation, les matières organiques enfouies sous forme de résidus de récolte ou de fumier ne semblent pas avoir eu d'effet significatif sur le

contrôle du ruissellement et de l'érosion, contrairement aux résidus organiques laissés en surface. En revanche, l'apport d'une faible dose de fumier (3 t/ha/an) améliore les rendements des parcelles protégées de l'érosion.

À la suite de ces deux années d'observation, il faut rester prudent pour proposer des améliorations au système. Il nous semble cependant possible de suggérer les orientations suivantes :

— améliorer le travail du sol réduit à la ligne de culture, y introduire une fumure organique localisée et répartir la fumure minérale en fonction des besoins des cultures et des risques de drainage ;

— introduire sous le maïs une jachère courte de légumineuses (*Calopogonium mucunoides* ou *Stylosanthes ha-*

mata) (KLEIN, 1994), laquelle fournira une litière morte pour la culture cotonnière suivante (alternance labour et semis direct) ;

— retarder le labour pour favoriser la production d'une biomasse qui pourrait servir de paillis sur la parcelle ;

— introduire tous les vingt mètres une bande d'arrêt paillée fourragère, soit enherbée, soit arbustive ; entre les talus qui se forment progressivement, la pente des terres cultivées en courbe de niveau s'adoucirait au fil du temps et les risques d'érosion s'atténueraient.

La méthode des parcelles d'érosion paraît être un bon outil d'évaluation du fonctionnement des différents systèmes de sols naturels ou cultivés, à travers l'étude de l'érosion ainsi que des bilans hydrique, chimique et biologique.

BIBLIOGRAPHIE

- BOLI (Z.), BEP (B.), ROOSE (E.), 1991 — Enquête sur l'érosion en région cotonnière du Nord-Cameroun. *Bull. Réseau Érosion*, 11 : 127 - 138.
- BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985 — *Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun*. Paris, Orstom, Yaoundé, Mesires-Ira, 285 p.
- CHARREAU (C.), NICOU (R.), 1971 — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux de la zone tropicale sèche africaine et les incidences agronomiques. *Agron. Trop.*, 26 (9) : 903- 978 et 26 (11) : 1183-1247.
- DICKEY (E. C.), SHELTON (D. P.), 1987 — « Targeted educational programs to enhance the adoption of conservation practices ». In : *Optimum erosion control at least cost*. Proc. nat. symposium on conservation systems, ASAE, Publication 08-87.
- KLEIN (H. D.), 1994 — Introduction de légumineuses dans un système coton-céréales au Nord-Cameroun. *Bull. Réseau Érosion*, 14 : 393-398.
- LAFLEN (J. M.) *et al.*, 1987 — « Yields conservation and cost of tillage systems in Illinois ». In : *Optimum erosion control at least cost*. Proc. nat. symposium on conservation systems, ASAE, Publication 08-87.
- LAL (R.), 1983 — *No-till farming. Soil and water conservation and management in the humid and sub-humid tropics*. Ibadan, IITA, Monograph n° 2, 64 p.
- NICOU (R.), POULAIN (J.-F.), 1982 — Les effets agronomiques du travail du sol en zone tropicale sèche. *Machinisme Agricole Tropical*, 37, 7 p.
- NICOU (R.), OUATTARA (B.), SOME (L.), 1987 — *Effet des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières au Burkina Faso*. Ouagadougou, Inera, 77 p.
- ROOSE (E.), 1967 — Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron. Trop.*, 22 (2) : 123-152.
- ROOSE (E.), 1977 — *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 78, 108 p.
- ROOSE (E.), 1981 — *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Étude expérimentale de transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 130, 569 p.
- ROOSE (E.), 1991 a — *Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe et rigole, en accord avec le modèle « USLE » de Wischmeier et Smith. Adaptation pour la station de Mbissiri*. Montpellier, Orstom, 11 p.
- ROOSE (E.), 1991 b — *Compte rendu de la troisième mission Roose au Nord-Cameroun*. Montpellier, Orstom, 7 p.
- ROOSE (E.), 1993 — « Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale ». In : *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires, 494 p.
- ROOSE (E.), ARRIVETS (J.), POULAIN (J.-F.), 1978 — *Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés issus de granite sous sorgho et sous une savane soudano-sahélienne : Saria (Burkina Faso), campagne 1971 à 1974*. Paris, Orstom, 123 p.
- SANON (K.), 1992 — *Étude du bilan hydrique en fonction des techniques culturales dans un système de culture intensif (coton-maïs) sur sols ferrugineux sableux du Nord-Cameroun*. Mémoire DAT, Cnearc/Esat, Ira, Montpellier, 56 p.
- SOME (L.), 1989 — *Diagnostic agro-pédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, mil et maïs*. Thèse, USTL, Montpellier, 270 p.
- WAECHTER (F.), 1993 — *Comportement hydrique d'un sol ferrugineux sableux sous rotation coton-maïs à Mbissiri (Nord-Cameroun)*. Mémoire DESS, univ. Paris-XII, Ira, Cيراد, Orstom, 54 p.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 — *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, USDA, Handbook n° 537, 58 p.

Effet des techniques culturales sur l'érosion et la dégradation des sols sableux du Nord-Cameroun soumis aux cultures sarclées intensives : 309-325

Photos : E. Roose



Parcelle de maïs soumise au labour. Noter que la surface du sol est complètement fermée par la battance des pluies très agressives de début de saison. Les grains de sable blanchis et nettoyés par les pluies couvrent la surface du sol très appauvri en matières organiques. Le ruissellement peut dépasser 80 % lors des gros orages.



Après labour, le maïs est soumis à un sarclage, puis à un buttage pour enfouir l'urée. S'il n'est pas exécuté strictement en courbe de niveau, le buttage augmente la pente du terrain, concentre les eaux de ruissellement et favorise le transport des sables.



Pour éviter que le sol labouré, peu cohérent, soit exposé aux pluies, on peut le couvrir avec des pailles provenant des parcelles voisines (ici 6 t/ha de pailles fraîches). Ce paillage ralentit considérablement l'érosion, mais implique un gros supplément de travail en période chargée et n'a pas d'effet sur les rendements des cultures.



Une autre stratégie consiste à laisser pousser les adventices, à les griller aux herbicides lorsqu'elles atteignent 20 cm et à réduire le travail du sol à la ligne de semis. Ruissellement et érosion sont alors très modestes, mais le maïs semble souffrir d'un drainage excessif et d'un manque d'azote.



Une autre solution : cloisonner le paysage par des haies vives herbeuses ou arbustives (*Cassia siamea*) et labourer en courbes de niveau strictes. L'érosion est alors réduite au niveau du versant, mais la dégradation du sol se poursuit entre les haies si on ne développe pas un système cultural plus équilibré (station IRA de Mbissiri).



Vue de la savane brûlée et pâturée traditionnellement et de la parcelle mise en défens. Noter l'envahissement par les grandes graminées pérennes et les arbustes là où l'on a maîtrisé le feu allumé par les éleveurs. Ruissellement et érosion sont négligeables dans le milieu naturel non brûlé, mais la pratique du feu reste indispensable pour le pâturage du bétail.