

Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique Occidentale

Eric Roose¹

Résumé

Depuis le début du siècle, on observe dans cette zone une dégradation de la végétation, du sol et des ressources hydrauliques. Cette dégradation est en relation avec le développement de la population et sa concentration en zone urbaine, avec l'extension des défrichements pour faire face aux besoins en énergie et en terres de culture, avec le surpâturage des parcours suite à l'extension des troupeaux en période humide et à la réduction des surfaces pâturables. L'érosion témoigne du déséquilibre entre la gestion du paysage et ses potentialités.

L'analyse des résultats de trente années de recherche de l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM) et du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) montre que le milieu est sensible à l'énergie du vent, de la pluie et du ruissellement. L'intensité des averses est largement supérieure à la capacité d'infiltration des sols battants, instables et souvent carencés. Le couvert végétal, les techniques culturales et la pente sont les principaux facteurs permettant de réduire l'érosion. L'analyse des projets d'aménagements antiérosifs aboutit généralement à un constat d'échec parce qu'on a appliqué des méthodes étrangères non adaptées aux conditions locales, trop coûteuses, peu efficaces et peu acceptables par les paysans : on n'a observé ni l'entretien des dispositifs par les bénéficiaires, ni l'extension en tache d'huile.

L'auteur propose une approche globale (à l'échelle du village) et progressive (plan d'aménagement sur 10 ans) de l'aménagement du paysage en vue d'une gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols et de l'équilibre du système de production agro-sylvo-pastoral. Il préconise d'augmenter l'infiltration et de disperser l'énergie des eaux de ruissellement résiduelles par une série de techniques culturales et de structures composées de microbarrages perméables (connues dans la tradition africaine), l'intégration de l'élevage et de l'agriculture (fourrage-fumier-attelage), l'association des arbres à objectifs multiples sur la zone cultivée, le cloisonnement progressif du paysage pour former un bocage aménagé, en vue de cultures intensifiées mécanisées et l'aménagement des bas-fonds.

Les aménagements seront légèrement différents selon le type de climat et de population : diversion des eaux excédentaires en milieu soudanien (pluviométrie >700 mm), absorption totale en milieu soudano-sahélien et captage du ruissellement pour l'irrigation d'appoint en zone sahélienne (pluviométrie <400 mm). Le traitement simultané de l'érosion éolienne (rideaux d'arbres) de l'érosion en nappe et en ravine et de la dégradation de la fertilité des sols est indispensable pour rétablir l'équilibre du paysage.

1. Directeur de recherche, ORSTOM, Montpellier, France.

Abstract

Soil and water conservation in the Sudano-Sahelian zone of West Africa: *Since the beginning of the century, vegetation, soil, and water resources in this zone have deteriorated. As populations grew and concentrated in urban zones, more lands were stripped to provide firewood and arable land, and expanding herds were forced to overgraze reduced rangelands. Erosion is the evidence of the imbalance between the present and potential land management.*

The results of 30 years of research at ORSTOM and CIRAD show the extent of erosion caused by wind, rain, and runoff. The unstable impoverished soils have too slight an infiltration capacity to absorb heavy rains that are therefore lost due to runoff. Major factors in curbing erosion are vegetation cover, cultural practices, and slope management.

Projects to control erosion have often failed because methods borrowed from other regions were not adapted to the local conditions, either for reasons of cost, low efficiency, or acceptability to the farmers.

The author proposes a comprehensive approach for landscape management based on the conservation of water and soil fertility and a balanced, sustained agriculture/forestry/pasture production system. He suggests better use of runoff waters through a system of tillage, the creation of surface structures such as permeable microdams (a traditional African practice), mixed farming, the association of multipurpose trees with crops, the division of land into management units for intensive mechanized cultivation, and the development of valley bottoms. This type of a conservation management program would need to be adapted to climates and demography: diversion and collection of the excess water in the Sudanian zone (rainfall >700 mm), complete infiltration in the Sudano-Sahelian zone, and water harvesting for supplementary irrigation in the Sahelian zone (rainfall <400 mm). The simultaneous control of wind, sheet, and gully erosion, and of soil fertility, are essential to stabilize the landscape.

Introduction

Depuis les années 1950, et plus spécialement depuis la longue période sèche, on constate une évolution profonde des paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale : dégradation de la végétation (disparition d'arbres et même de graminées pérennes), dénudation, encroûtement et décapage des sols, augmentation du ruissellement, ravinement des versants, changement du régime d'écoulement des rivières, baisses du niveau des nappes aquifères et finalement aridification du microclimat régional (Mulard et Groene 1961, Marchal 1979, Roose 1985a et b). Le climat a-t-il brutalement changé? Ou bien faut-il incriminer l'homme et sa gestion d'exploitation minière des paysages? En somme le développement?

Les causes principales sont les pressions démographiques (trop forte charge en hommes et en gros bétail pour une potentialité de production très variable) et socio-économiques (extention des surfaces défrichées, dessouchées et labourées mécaniquement en vue de cultures industrielles ou vivrières, surpâturage, réduction de la jachère, feux de

brousse, etc.). La sécheresse plus longue que d'habitude n'a fait qu'accélérer le déséquilibre entre la biomasse produite et les besoins de consommation (Peyre de Fabrègue 1985, Banque Mondiale 1985, Delwaulle 1973a, le Houerou 1979, Marchal 1983).

Face à cette dégradation des terres, une méthode antiérosive classique a été largement préconisée, celle des terrasses de diversion des eaux de ruissellement vers des exutoires aménagés (Bennet 1939, FAO 1967, Hudson 1973, CTFT 1980). Devant les échecs plus ou moins caractérisés de cette approche en milieu paysan ouest-africain, une analyse des principes de base, des résultats de mesure et des observations de terrain pourrait débloquer le problème. Une autre approche peut être suggérée qui s'appuie sur la pratique traditionnelle des microbarrages perméables (lignes de paille ou de pierres, bandes enherbées, haies vives, rideaux d'arbres, etc.), la fertilisation organique localisée, la plantation d'arbres et l'amélioration des réserves hydriques (Roose 1985a et b).

Mais les problèmes de conservation de l'eau et des sols ne sont pas seulement dans le choix de méthodes efficaces, judicieusement adaptées au

milieu physique (agressivité du climat, fragilité des sols, topographie) et au milieu économique (moyens financiers, main-d'œuvre disponible, rentabilité des aménagements); ils sont profondément humains, enracinés dans les habitudes ancestrales (ex. travail intense du sol chez les Senoufos, travail très superficiel chez les Mossi), liés aux relations entre agriculteurs sédentaires, éleveurs semi-nomades et à la proximité de la ville (commercialisation des produits et en particulier du bois).

Dans cette note, on présentera rapidement un bilan de 30 ans de recherches par le CIRAD et l'ORSTOM sur le ruissellement et l'érosion dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger, nord Bénin). On analysera ensuite les causes des échecs de bon nombre de programmes classiques d'aménagements antiérosifs avant de proposer une nouvelle stratégie d'aménagement partant des besoins exprimés par les paysans, de la nécessité d'équilibrer le développement de l'agriculture, de l'élevage et de la production forestière et faisant appel à diverses structures perméables et pratiques culturales bien connues de la tradition paysanne en vue d'augmenter la capacité d'utilisation des eaux de surface à l'échelle du terroir villageois.

Quelques résultats de la recherche

A la Figure 1 on a situé les stations où furent effectuées des mesures de ruissellement et de l'érosion (parcelles d'érosion, simulation de pluies ou microbassins) ou des études sur l'efficacité des aménagements antiérosifs. Sur le fond géographique, on a rapporté en outre une esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (R USA de Wischmeier et Smith 1960) d'après une analyse des données pluviométriques arrêtées en 1975 (avant la fin des années sèches).

Le milieu soudano-sahélien : fragile et diversifié

Sous cette appellation globale, Goudet (1985) distingue à juste titre trois sous régions écologiques : les régions sahélo-soudanienne (pluie de 300 à 600 mm), soudano-sahélienne (pluie de 600 à 900 mm) et soudano-guinéenne (pluie de 900 à 1200 mm).

Les précipitations annuelles décroissent donc de 1200 à 300 mm vers le Nord, mais elles ont diminué de 200 mm en moyenne ces dix dernières années. Les pluies tombent en 3 à 6 mois avec des intensités

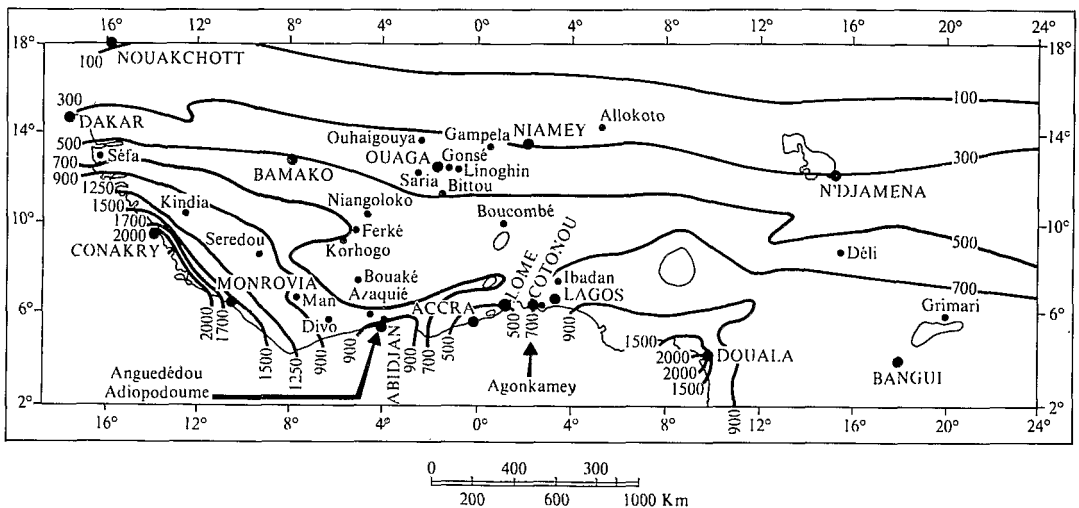


Figure 1. Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (R USA de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du Centre. Situation des parcelles et sites de Recherche-Développement (Roose 1976b).

très élevées (55 à 80 mm h⁻¹ pendant 30 minutes) en comparaison avec la faible capacité d'infiltration des sols battants. Les averses journalières atteignent 60 à 75 mm tous les ans, 120 mm tous les 10 ans et 150 mm tous les 50 ans (Brunet-Moret 1963). L'indice d'érosivité des pluies "RUSA" diminue de 500 à 200 à mesure qu'on se rapproche du Sahel (Roose 1976b, 1978 et 1980) (Fig. 1).

Les paysages les plus fréquents sur granite et sur grès (Tab. 1) sont formés d'un plateau cuirassé plus ou moins vaste, d'un court éboulis de blocs, d'un long glacis gravillonnaire recouvert d'un voile sablo-limoneux de plus en plus épais, d'un bourrelet de berge et du lit mineur souvent encaissé. La majorité des pentes sont faibles (0 à 3%) mais très longues. Ils peuvent être envahis par des dunes plus ou moins anciennes ou être plus raides sur roches basiques.

Les sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés et hydromorphes en profondeur et les sols bruns plus ou moins hydromorphes ou vertiques des bas de pente sont pauvres chimiquement (carences NP, parfois K, pH 6 à 4) et de structure instable (peu de matières organique, beaucoup de

limons et sables fins). Dès qu'ils sont dénudés, il se forme en surface une croûte (de battance ou de sédimentation) très peu perméable (moins de 10 mm h⁻¹). Après quelques années de cultures (coton, arachide, niébé, ou divers haricots alternant avec sorgho, maïs, mil, fonio) avec labour et deux sarclo-buttagés par an exécutés avec la traction animale, il se forme vers 12-15 cm une discontinuité peu pénétrable aux racines (compacité, pH, carence ou toxicité?). Le pédoclimat est donc beaucoup plus sec encore pour les cultures. Les jachères sont en voie de disparition, trop courtes et surpâturées pour régénérer efficacement la fertilité des sols.

Les cultures laissent très peu de résidus. Les tiges de cotonnier sont brûlées; les fanes d'arachide et autres légumineuses sont utilisées comme fourrage. Les feuilles de céréales sont broutées sur place et les tiges restantes utilisées pour quelques travaux artisanaux ou brûlées.

La végétation, une savane arborée assez dense à l'origine, a été sérieusement dégradée ces dernières années du fait de l'extension des cultures, du ruissellement et de la baisse de niveau des nappes, des

Tableau 1. Aménagement type en milieu soudano-sahélien.

Plateau cuirassé	Talus éboulis	Glacis gravillon.	Glacis Sablo-limoneux	Bas-fond limono-argileux
Système de production				
Tradit. parcour extensif Amélioré : reforestation, défense, arbustes fourragers			Cultures céréales en sec Céréales - coton ou arachide	Fourrages de contre-saison Jardins potagers Rizières, Vergers
Aménagements				
Routage pour augmenter l'infiltration Barrages collinaires et demi lunes pour le bétail Exutoire : murettes en pierres			Diguettes et fossés de diversion Exutoires aménagés pour évacuer le ruissellement	Réseau d'irrigation Réseau de drainage
Suggestions				
Reforestation par enrichissement en fourragers et fruitiers			Agroforesterie Diversification	Rizières + Fourrages contresaison
Routage + demi lunes pour les arbres			Cultures associées	Jardins (potagers, vergers)
Lignes de cailloux + litière de branchages			Segmentation du versant par cordons de pierres, haies vives, arbres à faible densité et à objectifs multiples	Microbarrages, Gabions en cascades
Impluvium + citerne familiale				
Mise en défens périodique			Augmenter l'infiltration par gestion des mat. organiques, travail du sol en sec, billonnage cloisonné	

énormes besoins en bois de feu et du surpâturage. Les troupeaux se sont beaucoup développés durant les années humides dans tout le Sahel; aussi durant la période sèche, la biomasse produite en diminution, n'arrive plus à nourrir à la fois les troupeaux du village et les troupeaux transhumant du Sahel vers des zones plus humides (Hallamm et Van Campen 1985, Bus 1985, Quilfen et Milleville 1983).

Perception par les villageois de la dégradation d'un terroir et stratégies d'adaptation

L'exemple schématisé au Tableau 2 est issu d'une enquête auprès d'une quarantaine de cultivateurs/éleveurs Bambara du village de Kaniko situé à 25 km de Koutiala (Mali) dans une zone densé-

ment peuplée, de production cotonnière intense où l'Institut d'économie rurale (IER, Bamako) et l'Institut royal des régions tropicales (IRRT, Amsterdam) collaborent dans un projet de recherche-développement intégré (y compris la conservation des sols) avec la Compagnie malienne des textiles (CMDT) (Roose 1985a, Kleene et Vierstra 1985).

Face à la poussée démographique (la population double en 25 ans) et à la dégradation du milieu, quatre stratégies sont mises en oeuvre plus ou moins successivement :

1. L'extension des cultures : la mécanisation grâce à la traction animale a permis l'extension des surfaces cultivées et une meilleure maîtrise des adventices. Cependant on constate aujourd'hui que la majorité des bonnes terres sont déjà cultivées et qu'avec l'augmentation de la durée de culture et le défrichement des terres plus fragiles, on aboutit rapidement à une augmentation des problèmes de dégradation de la ferti-

Tableau 2. Perception par les villageois de Kaniko, situé à 25 km de Koutiala au Mali de la dégradation d'un terroir (+ 40 ans).

Epoque source	Vers 1940 souvenir (± mythiques)	Observations en 1984	Vers l'an 2000 Extrapolations
Pluies	900 mm	650 mm	900 mm
Végétation	Savane arborée dense	Savanne arbustive	Sols nus cultivés ou surpâturés
Cueillette	Fruits sauvages, poisson, gibier, Bois	Quelques vergers disparus/ élevage se raréfient près des villages	Vergers en extension pisciculture Elevage, plantation d'arbre
Terres	Riches fertiles	Dégradées, asséchées	Erodées ou restaurées
Jachère	Longue	Courte ou nulle	Nulle
Rivière	Permanente	6 mois sec, creusement puits	Les puits s'assèchent sauf plant aménagement (barrages, diguettes d'infiltration)
Population	200 habitants	1020	+ 1600 au rythme actuel (3%)
Bétail	50 bovins	> 80 bovins > 800 ovins, caprins + les transhumants	En croissance Limité par manque de fourrage en saison sèche
Surface cultivée par Unité paysanne	1-3 ha	5 à 20 ha si traction animale	20 ha si motorisation
Système	Culture itinérante extensif équilibré si <25 hab. km ⁻²	Semi-intensif déséquilibré : éléments nutritifs, matière organique, fourrage-bois chauffe	Extension limitée, Intensification Diversification + Migration + longue

lité des sols, de ruissellement et d'érosion.

2. L'émigration : solution très largement utilisée dans le Sahel pour mieux rentabiliser le travail soit durant la saison sèche, soit pendant des périodes plus longues. Mais cette stratégie aboutit à vider le pays de ses forces vives. Ceci constitue une limite supérieure à l'extension et à l'entretien des dispositifs antiérosifs dans le Sahel (Marchal 1983).
3. L'intensification : pour les paysans, il s'agissait jusqu'ici de raccourcir la jachère et d'aménager en rizière les bas-fonds (lieu de concentration des eaux, des éléments nutritifs et des matières organiques) traditionnellement utilisés pour la production fourragère en saison sèche.

Il faudrait dorénavant équilibrer les exportations par des apports d'éléments nutritifs organiques et minéraux, gérer au mieux les matières organiques, maîtriser la densité et la précocité des semis, améliorer la disponibilité en eau par l'irrigation, forcer toutes les eaux pluviales à s'infiltrer "Rain Farming", ou même capter le ruissellement venant d'amont pour assurer une irrigation d'appoint "Runoff Farming".

4. La diversification : pour faire face aux risques climatiques (sécheresse à un moment crucial), aux risques économiques (effondrement des prix) et biologiques (maladies, insectes), la diversification des productions permet d'améliorer la stabilité des revenus. Le coton et l'arachide ne sont pas les seules cultures rentables. Les vergers, les cultures légumières ou fourragères, l'élevage, le commerce du bois et l'artisanat assurent des rentrées substantielles.

Les besoins en bois de feu ($0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) soit 1/3 du budget des familles à Ouagadougou) croissent parallèlement à la population. Or, la production des forêts naturelles est très faible ($0,1$ à $0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Pour augmenter cette production, il faudrait améliorer la gestion des forêts existantes (taillis à cycle court et enrichissement) et associer les arbres (en ligne à faible densité) aux cultures dans les bonnes terres pour aboutir à un bocage à production diversifiée (Banque Mondiale 1985, Bertrand 1985, Goudet 1985).

L'élevage, une fois le problème de la divagation du bétail réglé, a un rôle important à jouer dans le développement rural (traction, fumier, valorisation des résidus).

La solution aux problèmes d'érosion ne passe donc pas uniquement par la sélection des struc-

tures (Défense et restauration des sols-DRS) les plus efficaces, mais aussi par l'équilibre du système de production agro-sylvo-pastorale et par la levée de contraintes socio-économique (Lovejoy et Napier 1986).

Les types d'érosion les plus fréquents et leurs causes

Ces paysages semi-arides sont sensibles à l'érosion éolienne, ainsi qu'à l'érosion hydrique, mais à des degrés divers.

L'érosion éolienne. Elle ne devient dangereuse que lorsque les précipitations annuelles sont inférieures à 600 mm, que la saison sèche dure plus de six mois, que les sols sont poudreux, riches en limons, en sables fins, mais pauvres en matières organiques et instables, lorsque la végétation est clairsemée et que les vents soufflent à plus de 20 km h^{-1} .

On observe alors des brumes sèches (suspension de matières organiques et minérales fines), des vents de sable (qui détruisent les jeunes semis) et des tourbillons (saltation et suspensions instables de sable fin), la formation de nappes de sables plus ou moins ridées "ripple marks" et de petites dunes piégées dans les touffes de végétation basse. Il existe très peu de recherches sur l'érosion éolienne en Afrique occidentale, mais les méthodes de lutte sont bien connues et souvent semblables à celles utilisées contre l'érosion hydrique, à savoir augmenter la stabilité et la rugosité du sol, éviter de pulvériser le lit de semence, couvrir le sol et réduire la vitesse du vent au sol par des haies et des arbres.

L'érosion en nappe. Elle provient de l'énergie des gouttes de pluie qui détruit les agrégats, forme une pellicule de battance très peu perméable et provoque un ruissellement en nappe abondant évoluant en griffes et ravines. Une carte des indices annuels moyens d'érosivité des pluies (R index de Wischmeier et Smith 1960) montre que l'agressivité des pluies augmente rapidement des zones arides ($R \approx 100$ à 500) vers les zones tropicales humides ($R \approx 500$ à plus de 1500) mais qu'elle est déjà considérable dans la zone soudano-sahélienne ($R = 200$ à 600). On y observe des averses violentes mais avec une fréquence moindre qu'en zone tropicale humide; pourtant les manifestations d'érosion

yl sont plus nombreuses qu'en zone humide où le couvert végétal est beaucoup plus rigoureux (couvrant).

Le ravinement. Tant que les eaux ruissellent en fine couche sur l'ensemble de la surface du sol, leur vitesse est faible, ainsi que leur capacité de transport et leur compétence (taille max. des sédiments charriés) car les forces de frottement à la surface du sol sont énormes. Mais dès que le ruissellement se concentre (fossé, billon, rupture de pente, etc.), et que l'eau prend de la vitesse, son énergie ($M \times V^2$)/2 devient capable d'arracher des particules, de creuser des rigoles qui, sans intervention, évoluent en nappes ravinantes (décapage d'une nappe de 5 à 20 cm de profondeur sur 1 à 4 mètres de largeur), en ravines (sapement de berge, effondrement de tunnel ou simplement surcreusement du fond et érosion régressive).

Le ravinement transporte beaucoup de sédiments, dissèque les champs, coupe les routes et peut entraîner la dégradation de l'ensemble du paysage (badland ou ravinement généralisé ou rubine).

A chaque cause de l'érosion correspondent des méthodes de lutte différentes.

Cause	Traitement
Energie du Vent	Augmenter la rugosité du sol et du paysage (haies) Augmenter la stabilité du sol et le couvert végétal
Energie des pluies	Couvrir le sol Augmenter la stabilité et la rugosité de la surface du sol
Energie du ruissellement	Ralentir la vitesse du ruissellement, donc la pente Diminuer le volume ruisselé et surtout les débits de pointe.

Comme il y a très peu d'études en Afrique occidentale sur l'érosion éolienne et que les processus d'érosion en nappe sont à l'origine des processus de dégradation et d'érosion en ravines, nous attacherons à résumer les résultats de la recherche sur les facteurs qui permettent de modifier l'importance de l'érosion potentielle en nappe et rigole à l'échelle du champ.

Les facteurs modifiant l'érosion en nappe potentielle (quantifiée par le facteur C)

Quatre facteurs modifient l'érodibilité d'une terre : le couvert végétal associé aux techniques culturales, l'érodibilité du sol, la pente.

Le couvert végétal—variation possible de 1 à 1/1000 du facteur C

Le facteur C (Wischmeier et Smith 1960) diminue de 1 sur sol nu à 1/1000 sous forêt et savane non dégradée, ou terre paillée à 80%; 1/100 sous prairie, savane claire paturée non dégradées; 0,9 à 0,01 sous différentes cultures en fonction de leur densité, date de semis; 0,2 à 0,8) sous coton, mil, sorgho, maïs, arachide, niébé.

C'est donc un moyen de lutte très efficace que de couvrir le sol. Il est donc recommandé de :

- planter tôt, très dense quitte à éclaircir plus tard en fonction des besoins en eau;
- ne défricher que les surfaces nécessaires, intensifier et diversifier la production;
- fertiliser et gérer les résidus de culture et apporter du paillis, du fumier;
- associer des cultures dans le temps et dans l'espace : agroforesterie.

Les techniques culturales conservatrices—variation 1 à 0,1 du facteur C

Ce facteur a des interactions évidentes avec le couvert végétal, mais on peut proposer toute une série de techniques culturales conservatoires adaptées à différents niveaux :

- Labour minimum avec résidus de culture ou paillage en surface avec pièges de ruissellement et matières organiques attirant les termites (zaï des Mossi sur glaciais battant).
- Travail grossier (socs ou dents) + affinage localisé du lit de semence.
- Billonnage isohypse cloisonné sur sol perméable et pente faible (sols sableux) (Roose 1967).
- Planches isohypses avec réseau de drainage vers une citerne (système ICRISAT sur Vertisol en Inde).
- Travail du sol en sec : simple grattage à deux dents sur 15-20 cm après récolte sur glaciais bat-

tant, labour de fin de cycle après récolte (zone Soudano-guinéenne) (Charreau 1969, Charreau et Fauck 1970), routage en courbe de niveau (40-60 cm) pour éclater les horizons compacts sur terrains stables (Herblot 1985) (carapace ferrugineuse, croûte calcaire ou argileuse).

Moyens de lutte

- Augmenter la stabilité des agrégats (matières organiques, CaCO_3 , R_2O_3 , travail du sol en sec).
- Augmenter la profondeur d'enracinement et la rugosité de surface (mottes, billons, croissants, croissant associé à dépression—Zaï).
- Gestion des matières organiques (résidus, racines, fumier) et des éléments nutritifs organiques et minéraux.

La pente topographique—variation de 0,1 à 5 du facteur C

Lorsque le sol n'est pas totalement couvert, la pente est le facteur qui influence le plus l'érosion :

Forme. Les pentes convexes apportent plus de sédiments à la rivière que les pentes concaves où l'on observe des piégeages de sédiments détachés : d'où les sols colluviaux.

Longueur. La longueur des pentes a en général peu d'effet sur le ruissellement et l'érosion en nappe car les frottements sur les rugosités du sol empêchent l'accélération des nappes ruisselantes. Par contre, la masse du ruissellement concentré en rigole peut s'accumuler le long d'une pente et avoir un impact exponentiel sur l'érosion linéaire.

Inclinaison. L'inclinaison du versant n'augmente pas toujours le ruissellement, lequel peut être très fort sur des pentes faibles, par exemple sur les glaciés battants (Roose 1967). Par contre la charge solide et l'érosion augmentent de façon exponentielle et l'exposant peut varier de 1,2 à plus de 2 si le sol est mal couvert (Roose 1980).

Moyens de lutte

- Evacuer latéralement les eaux pluviales non infiltrées pour éviter d'accumuler l'énergie du

ruissellement (voir plus loin terrasses de diversion).

- Cloisonner le paysage pour freiner les eaux ruisselantes (obstacles perméables) et provoquer une perte de charge et de compétence des eaux.
- Réduire la pente, au moins localement, pour provoquer la sédimentation (voir plus loin les terrasses progressives).

L'érodibilité des sols

L'érodibilité d'un sol (k) dépend de propriétés analytiques des horizons superficiels (texture, matières organiques, cations échangeables, R_2O_3 et des caractères morphologiques du profil (agrégation, capacité d'infiltration, discontinuités, hydromorphie) (Wischmeier et al. 1971, Roose 1980). Les sols sont d'autant plus fragiles qu'ils sont riches en limons, sables fins, Na échangeable ou hydromorphes, et d'autant plus résistants qu'ils sont cohérents, stables, riches en argiles, en sables grossiers et cailloux, en calcaire actif et en fer et alumine libres (Tab. 3).

Notons qu'il n'existe pas encore de méthode simple, rapide et fiable permettant aux pédologues d'évaluer la résistance des sols aux divers types d'érosion (test de stabilité structurale, de résistance au cisaillement par le ruissellement) surtout s'il s'agit de prévoir leur évolution avec défrichement et culture mécanisée (perte de 50 % de Matière organique en 2 ans, et de 50 à 90 % de leur capacité d'infiltration).

Moyens de lutte

- Augmenter la cohésion et la stabilité des agrégats : ciments organiques, fer, gypse, CaCO_3 , $\text{pH} > 5$;
- Augmenter la profondeur de l'infiltration par sous solage en présence d'amendements.

Stratégie classique de lutte antiérosive

Méthode

Il s'agit généralement de combiner trois approches complémentaires :

Tableau 3. Classification des sols fréquents en zone soudano-sahélienne en fonction de leur érodibilité croissante (Source : Fauck 1977, Roose 1980).

Sols ferrallitiques gravillonnaires argi- leux et riches en fer			Sols dunaires sableux	Vertisols argileux	Sols ferrugineux limoneux		Sols solonisés, sols arides limoneux poudreux	
E ¹	Nappe	Ravine	E vent	Ruissellement Ravinement	Ruissellement Nappe	Ravine	Ruissellement Nappe	Ravine
K ²	0,01	0,20	?	0,10	0,05	0,30		?

1. E = Erosion
2. K = Erodibilité du sol

- une définition du milieu physique : agressivité des pluies, carte de stabilité géomorphologique, carte d'utilisation des terres et carte de contraintes et potentialités des terres (ex. les 8 classes du Soil Survey USA);
- une définition des structures de mise en valeur et de protection : villages, routes, ponts, barages, drains, terrasses et exutoires, etc.;
- une définition de l'utilisation nouvelle des terres, adaptation des cultures et des techniques culturales (Bennet 1939, FAO 1967, Hudson 1973, Heusch 1977, Kilian 1974, Roose 1978 et 1980).

Exemple d'un aménagement type en milieu soudano-sahélien

Au Tableau 1 sont présentés les productions, les aménagements classiques et les suggestions d'aménagement actuelles en face de chaque segment de la toposéquence classique en particulier dans la zone de Koutiala au Mali et de Ouahigouya au Burkina Faso.

Analyse de cette approche technocratique

Marchal (1979, 1983) a analysé en détail l'aménagement effectué par le Groupement européen de restauration des sols) dans la région de Ouahigouya (Burkina Faso). Ces projets proposent souvent une approche technique intéressante et bien diversifiée en fonction du milieu physique, mais ne tiennent pas assez compte des aspects socio-économiques et de la résistance du gestionnaire traditionnel de ces paysages face à ces nouvelles propositions.

Ce genre de projet qui exige un fort investissement en spécialistes étrangers, en matériel lourd et terrassement et en capitaux pour avoir un effet marquant sur une surface significative en un court laps de temps, aboutit très généralement à un échec pour les raisons suivantes :

Sur le plan humain. Les gestionnaires traditionnels se désintéressent de la lutte antiérosive puisqu'on leur démontre qu'elle exige des moyens considérables dont ils ne disposent pas. Cela se traduit par une absence d'entretien des dispositifs, par une absence d'extension, par un abandon de ces terres à l'Etat (qui a consenti un investissement en vue de leur aménagement) ou même par une tentative désespérée de réappropriation des terres par la destruction systématique des aménagements visibles.

Sur le plan économique. L'aménagement classique en terrasses ou diguettes de diversion aboutit à une perte de 5 à 15% de surface cultivable sans assurer une quelconque amélioration des rendements, ni dans l'immédiat, ni même à long terme. Ces terrasses sont donc mal acceptées par les paysans.

De plus ces projets sont coûteux (en hommes et en matériels) et sont très rarement justifiés par une culture rentable. Stocking et Peake (1985) ont à même montré qu'il était plus rentable de protéger les bonnes terres que de restaurer des terres marginales épuisées.

Ces projets seraient éventuellement justifiables s'ils servaient d'exemples indestructibles faisant tâche d'huile. Or on n'observe généralement aucune extension spontanée en milieu paysan : par ailleurs la durée de vie des dispositifs est souvent très limitée (2 à 6 ans) par manque d'entretien.

Sur le plan technique (Fig. 2). La méthode classique consiste à évacuer vers des exutoires aménagés les excès d'eaux pluviales qui n'arrivent pas à s'infiltrer. Or cette méthode exige une protection antérieure efficace des exutoires, l'entretien régulier des fossés et diguettes de diversion et l'absence de phénomènes importants d'érosion entre les diguettes : hypothèses généralement non vérifiées en milieu paysan. De plus, les dispositifs sont dimensionnés en vue d'évacuer le ruissellement causé par une pluie décennale. Or les coefficients

de ruissellement sont mal connus et la pluie 1/20 ou 1/100 peut arriver demain. On constate en définitive de nombreux débordements, destructions des diguettes et ravinelements sur le versant qu'on voulait protéger et sur les exutoires qui reçoivent brutalement une masse considérable d'eau. Les paysans eux-mêmes ouvrent des brèches dans les diguettes aux endroits où l'eau s'accumule et engorge les terres cultivées.

A la Figure 2 on peut voir les principes et les critiques de la méthode des diguettes de diversion.

● L'érosion est fonction de :

E.pluie : l'énergie des pluies (constante tout le long de la pente)

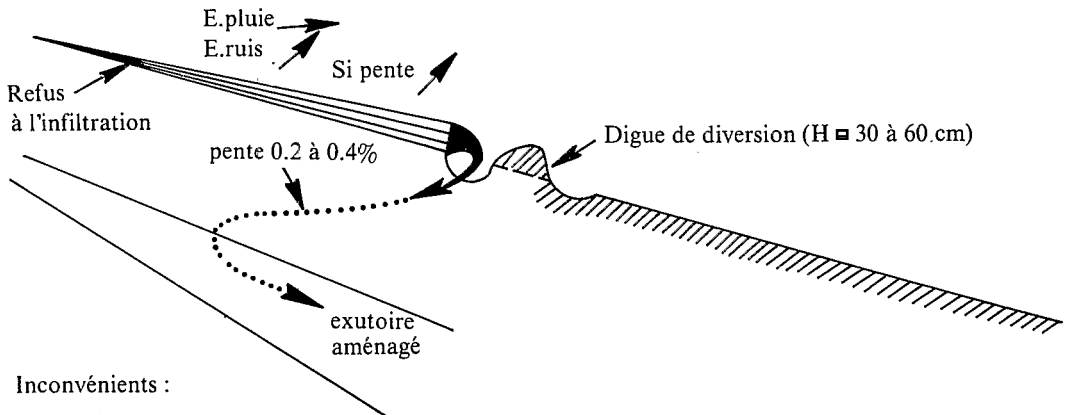
E.ruis. : l'énergie du ruissellement (qui croît avec la pente) : $MV^2/2$

$$E = f(\text{longueur})^n \times (\text{pente})^m$$

● Les terrasses

- peuvent évacuer l'énergie du ruissellement accumulée

- ne peuvent pas réduire l'énergie des pluies ni la dégradation du sol



Inconvénients :

1. Nécessité d'équipes de topographes experts.
2. Important travail d'installation et d'entretien, d'où généralement :
 - digues non protégées
 - canaux encombrés de sédiments
 - exutoires non enherbés, ni protégés (surcreusés ou ensablés)
3. Perte de 5 à 20% de la surface cultivée sans augmentation de rendement.
4. Perte d'eau et éléments nutritifs pour les champs cultivés en aval.
5. L'aménagement doit rompre s'il advient une pluie de fréquence inférieure à 1/10 ans.
6. Variation de largeur des champs cultivés (mécanisation difficile).
7. N'arrête pas l'érosion en nappe ni la dégradation.
8. Finalement, risques graves de ravinement s'il y a une rupture des digues (1 fois en 4 à 10 ans).
9. Accélération du temps de concentration des eaux (gros débits de pointe, érosion marigots et ravinement régressif).

Figure 2. Méthode des fossés, diguettes ou terrasses de diversion.

Si celle-ci semble mal adaptée aux conditions écologiques, socio-économiques et humaines de l'Afrique, que peut-on proposer comme alternative?

Stratégie nouvelle : la gestion conservatrice de l'eau et de la fertilité des sols

Principes

Le ruissellement et l'érosion étant considérés comme des signes d'une gestion déséquilibrante du paysage, il s'agit avant tout d'écarter les pratiques les plus dégradantes, de favoriser les techniques améliorantes et de définir un système d'exploitation permettant la gestion conservatrice des eaux disponibles et la fertilité des sols (Roose 1984).

Cette nouvelle stratégie s'appuie sur trois principes :

1. Partir d'une enquête sur la perception du problème par les paysans concernés, ainsi que sur les types d'érosion et leur extension dans le paysage. Choisir avec eux des méthodes conservatrices simples, adaptées au milieu physique et au contexte économique local; qu'ils puissent expérimenter sur leurs champs, en éprouver les avantages immédiats et les contraintes. Prévoir un système souple, des possibilités de correction après quelques années et dont les bénéficiaires restent totalement maîtres. De cette démarche interactive entre les réalités de terrains, les gestionnaires et les spécialistes naît une confiance et une formation réciproque très enrichissante.
2. Choisir des dispositifs efficaces permettant d'étaler les eaux à la surface du sol, de les ralentir, de disperser leur énergie, de réduire leur capacité de transport et leur compétence, plutôt que de les concentrer aux exutoires. Nous proposons de cloisonner le paysage par des microbarrages perméables en vue de piéger les sédiments et la majorité des eaux pluviales sur le versant (Fig. 3). Ces structures serviront de base spatiale pour l'introduction des méthodes d'intensification de la culture et de l'élevage. Ces méthodes sont connues dans la tradition paysanne, observées dans quatre continents et ont fait leur preuve depuis des siècles (Roose 1986a et b, Roose et Piot 1984). A la Figure 4 sont présentés trois exemples d'amélioration de l'in-

filtration d'un sol colluvial limono sableux battant situé près du Lac de BAM, environ 100 km au Nord de Ouagadougou.

- Le piochage superficiel du sol (B) a permis un gain d'infiltration de 46 mm par rapport au sol battant (A) mais après 100 millimètres de pluie sur ce sol assez peu stable, le ruissellement est devenu plus fort que sur sol trop travaillé, lequel bénéficie des macropores stables créés par la mésofaune
 - Le paillage sur un sol pioché (C) retarde le démarrage du ruissellement et maintient longtemps un bon niveau d'infiltration (de 30 mm h⁻¹).
 - Le billonnage cloisonné permet le stockage des 60 premiers millimètres de pluie. Mais en cas d'averse exceptionnelle (60 mm) ou de dégradation des billons, les eaux boueuses se déversent d'un billon au suivant et provoquent un ravinement qui peut être dangereux sur les pentes en absence d'entretien. Le taux final d'infiltration (26 mm h⁻¹) est nettement supérieur à ceux des sols battants (4 à 12 mm h⁻¹).
3. Etablir un plan d'aménagement global associant les arbres, les cultures et l'élevage à l'échelle d'un bassin versant, d'un terroir ou d'une surface occupée par une communauté paysanne. L'aménagement doit être progressif en fonction de l'évolution de la perception des paysans et des moyens disponibles. Dans ce plan s'inscrira l'évolution dans le temps et dans l'espace de la maîtrise par l'homme de son environnement.

Exemples d'aménagements en cours

Au Mali. Dans le cadre des recherches-développement de l'IER en collaboration avec l'IRRT et la CMDT dans les régions de Sikasso et Koutiala, les enquêtes et les discussions avec les groupements villageois ont fait ressortir les vœux des paysans concernant la lutte contre l'érosion dans l'ordre suivant (Hallam et Van Campen 1985, Van Campen et Kebe 1986) :

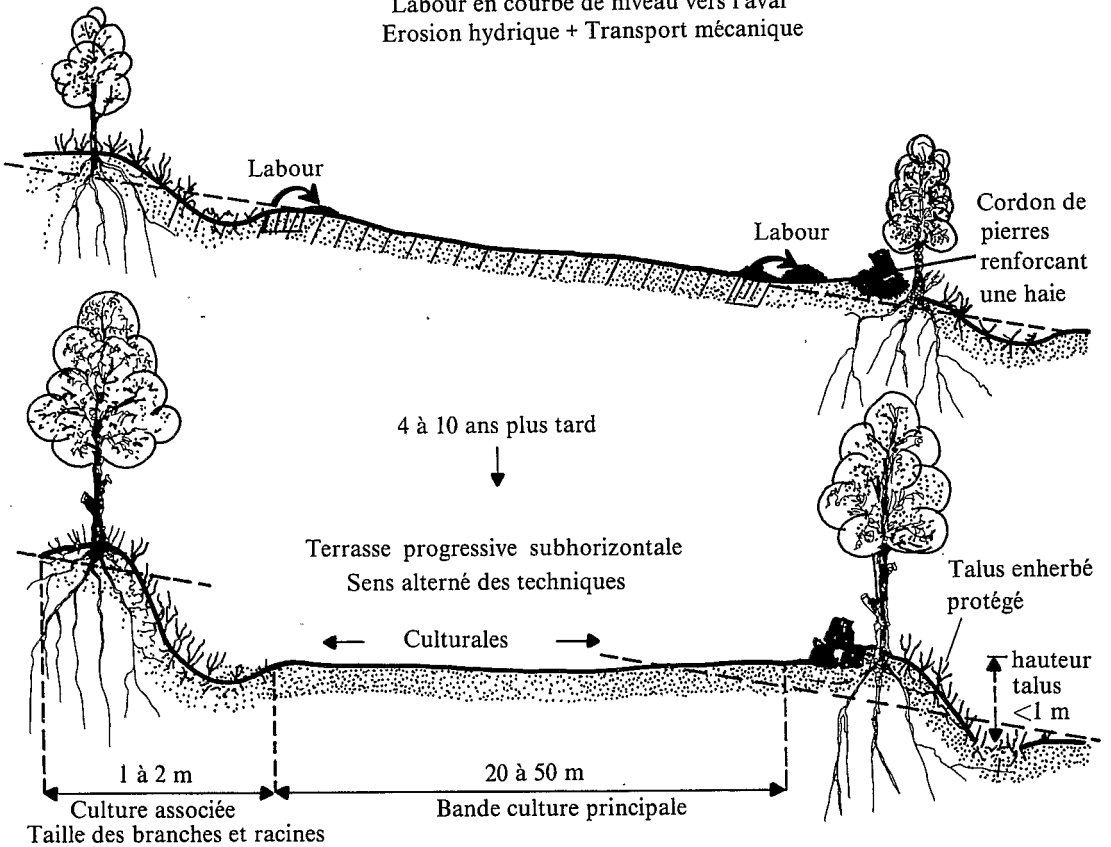
Se protéger des eaux ruisselant d'amont :

- cordons de pierres, haies vives et bandes enherbées sur le glacis gravillonnaire;
- exutoires stabilisés tous les 400 mètres, qui ser-

Microbarrages perméables aboutissent à des terrasses progressives.

- Cordons de pierres, de paille
- Bandes d'arrêt enherbées
- Haie vives
- Lignes d'arbres

Labour en courbe de niveau vers l'aval
Erosion hydrique + Transport mécanique



● Processus

Réduction de la vitesse du ruissellement par les barrages perméables

- dépôts de sédiments grossiers + mat. organiques
- augmentation de l'infiltration

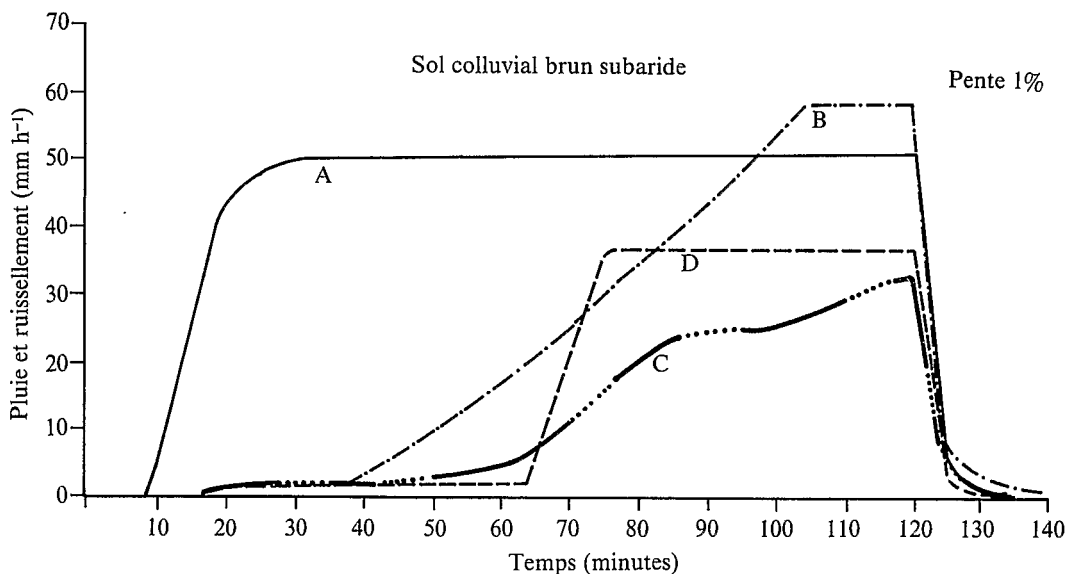
Erosion mécanique par le travail du sol
(1 à 10 t ha⁻¹ an⁻¹ de terre déplacée)

- Reptation lente du sol
- Accroissement des interactions biologiques racines, litières, mésofaune.

● Avantages

- La nature fait le travail
- Efficacité maintenue lors des fortes averses
- Mise en place facile, sans spécialiste topographe
- Bon marché, facile à entretenir, pas de place perdue
- Les risques d'érosion diminuent avec le temps
- Formation de terrasses horizontales
- Diversification de la production : bois, fourrage, fruit
- Maîtrise de l'érosion éolienne
- Le ruissellement n'engorge pas l'amont et irrigue l'aval

Figure 3. Méthode des microbarrages perméables.



		Coeff. ruiss. (%)	Ruiss. max. (mm h ⁻¹)	Infiltration (mm)
A	Sol nu, non travaillé battant :	71	50	36
B	Sol nu, pioché sur 10 cm :	33,5	58	82
C	Sol nu pioché, paillé :	16	29	104
D	Sol nu pioché, billonné, cloisonné :	22	36	97

Figure 4. Evolution du ruissellement en fonction des traitements sous une averse simulée de 62 mm h⁻¹ pendant 2 h à Pouni, Burkina Faso.

vent de chemin d'exploitation en saison des récoltes :

- soit digue de protection en amont des blocs de culture (Sénoufos en milieu soudanien);
- soit cordons de pierres filtrants (Bambara et Mossi si pluie 600 mm).

Se protéger contre le bétail et les eaux rejetés par le voisin

- haies vives + arbres—piquets verts autour des exploitations. On notera les implications sur le statut foncier des terres aménagées.

Protéger les parcelles cultivées contre la dégradation de la fertilité et de l'infiltration

- haies vives + arbres entre parcelles (densité finale 20 à 40 arbres/ha⁻¹);

- en complément tous les 25 m sur les parcelles, cordons de pierres en bande enherbée;
- techniques culturales en vue de l'amélioration de l'infiltration et de l'enracinement;
- grattage en sec, labour isohypse après la 1ère pluie, buttage cloisonné.
- soussolage tous les 4 ans,
- rotation (coton, céréale, légumineuse ou culture fourragère), fertilisation, pesticides,
- gestion des résidus de culture : paillage ou fumier paillé, branchages de légumineuses de brousse non appréciées.

Aménagement des bas-fonds

- digues en terre (H < 2 m) avec exutoires latéraux revêtus de bloc de latérite : succession de

mares peu profondes (riz flottant) et de jardins potagers,

- organisation du fond de vallée en un chapelet de casiers rizicoles à sec, maîtrise du plan d'eau et du drainage,
- microbarrage en gabions pour effacer le lit mineur et transformer le fond de vallée en une succession de mares et, par sédimentation progressive, de terrasses avec cultures de contre-saison (puits).

Dans le Yatenga (nord-ouest du Burkina Faso).

Les Mossi préfèrent commencer par organiser leurs parcelles individuelles (cordons de pierres ou diguettes en terre) souvent dispersées dans le paysage avant d'aménager les zones communautaires (bas-fonds et parcours des hauts de versant) (Dugue 1986, Faho 1986, Serpentine 1986, Reij 1983, Bedu 1986). Le ravinement des chemins d'exploitation et des exutoires fait aussi l'objet de tentatives plus ou moins heureuses pour limiter les dégâts ou même pour récupérer les eaux (petits seuils en blocs de latérite avec ailes isohypses sur les parcelles voisines). Mais l'aspect le plus original réside dans la capture du ruissellement issu d'un impluvium en tête de versant (2-5 ha) à l'aide d'une digue en demi lune pour stocker l'eau pour le bétail et pour l'irrigation d'appoint de quelques milliers de m² de culture précoce assurant la soudure.

Dans le Sine Saloum (Sénégal).

Valet (1986) rapporte que l'effort principal du CIRAD et des paysans porte sur la plantation de lignes d'arbres (bandes cultivées séparées par des barrages perméables), la mise au point de techniques culturales permettant d'infiltrer un apport d'eau ruisselant d'amont et la fixation des ravines (empierrage des têtes de ravine et différents types de seuils en blocs de latérite ou de fascines vivantes).

Dans les Vallées de Keita et de la Maggia (Niger).

Les paysans ont demandé une aide pour maîtriser les vents de sable qui dégradent les jeunes plantations et pour fixer les kori, oueds qui modifient sans cesse leur lit. Birat et Galabert (1967) ont montré qu'à l'échelle de champs, des méthodes simples permettaient de réduire le ruissellement et d'améliorer les rendements.

Le projet CARE (Dennison 1986) a mis en place un réseau de brise-vents (double rang de neem et divers acacias) distants de 100 mètres qui eut pour effet d'améliorer les rendements du mil d'environ

15% malgré une perte de surface cultivable du même ordre et de produire en outre une masse non négligeable de bois de feu et de feuilles (litière, fourrage, médicaments).

Le projet de développement intégré de la vallée de Keita (FAO) (Grall 1986, Carucci et Cupers 1986) intervient à plusieurs niveaux pour répondre aux besoins exprimés par les paysans :

- piégeage des eaux (fossés), fixation des ravines seuils galionnés et reforestation des versants raides;
- récupération des glacis battants et des plateaux abandonnées par des segments de terrasses empierrées avec exutoires empierrés tous les 65 mètres et lignes d'arbres;
- brises vents, puits, reforestation des berges, vergers et potagers irrigués;
- fixation des dunes;
- construction de routes, écoles, dispensaires, formation technique.

Remarques

Cette nouvelle stratégie de conservation des eaux et de la fertilité des sols fait intervenir une méthode simple et connue dans la tradition paysanne, mais elle déborde largement les interventions classiques de la DRS pour intégrer la gestion intensive du système agro-sylvo-pastoral à l'échelle d'une communauté rurale.

Elle demande aux autorités politiques une réactualisation du droit foncier (propriété des terres aménagées), du droit forestier (propriété des arbres et de leurs fruits) et du droit pastoral (maîtrise de la divagation du bétail), une évaluation de leur impact sur le développement et une volonté de former les paysans, seuls agents capables d'étendre suffisamment vite les méthodes conservatoires décrites.

Conclusion

- Les recherches sur l'érosion ont bien montré l'importance en zone soudano-sahélienne des risques de ruissellement et des pertes en eau, en terre et en éléments nutritifs à l'échelle du champ, même si la pente est faible; en effet les sols sont sensibles à la battance et les pluies agressives.
- Les aménagements antiérosifs classiques visaient

à évacuer les excès d'eau en minimisant l'érosion. La plupart des projets ont abouti à un échec :

- l'absence d'entretien a réduit à 2-6 ans leur durée de vie,
 - l'extension des surfaces aménagées par les paysans n'a pas eu lieu,
 - on n'a pas constaté d'amélioration nette des rendements.
- Les principales causes des échecs résident dans l'usage des techniques de diversion mal adaptées aux conditions tropicales et surtout dans l'absence des bénéficiaires au niveau des décisions et de la mise en oeuvre.
- La nouvelle stratégie tient mieux compte des besoins exprimés et des possibilités des villageois : elle met en oeuvre la méthode des micro-barrages perméables, connue dans les traditions paysannes de nombreux pays et maîtrisable entièrement par chaque individu.
- Il a fallu passer par l'échelle des champs individuels pour sensibiliser les paysans; mais il ne faut pas perdre de vue le plan d'aménagement progressif de l'ensemble du paysage pour assurer le développement harmonieux des productions animales, forestières, vivrières et industrielles.
- Réaménager le paysage en vue de sa gestion conservatrice prend du temps (5 à 10 ans) et dépend en définitive de la volonté paysanne et de contingences socio-économiques.

Bibliographie

Banque Mondiale. 1985. La désertification dans les zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. Banque Mondiale, Washington, Etats-Unis. 71 pp.

Bedu, L. 1986. Contribution à la mise en valeur des sols du Yatenga. Projet d'aménagement. Le cas de Ziga (Burkina Faso). Mémoire de stage, ENSAA-CNEARC-CIRAD, Montpellier, France. 90 pp.

Bennet, H. 1939. Elements of soil conservation. New York, Etats-Unis : McGraw-Hill.

Bertrand, A. 1985. Les nouvelles politiques de foresterie en milieu rural au Sahel. Réglementation foncière et forestière. Gestion des ressources ligneuses naturelles dans les pays de la zone soudano-sahélienne. Bois et Forêts des Tropiques No 207: 23-39.

Biro, Y. et Galabert, J. 1967. L'amélioration des rendements en agriculture par aménagements anti-érosifs et techniques culturales visant à la conservation de l'eau et du sol dans la région de l'Ader-Doutchi Maggia, Niger, station d'Allokoto. Premières observations en 1966. Rapport multigraphié. CTFT Niger-Haute Volta. 18 pp.

Brunet-Moret, Y. 1963. Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : Haute Volta. ORSTOM-CIEH, Paris, France : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération—Comité interafricain d'études hydrauliques. 23 pp.

Bus, G. 1985. A soil conservation research project in southern Mali (within the context of a farming systems research and development project). Communication présentée au Colloque international sur "The effectiveness of rural development" : Amsterdam, Netherlands : Koninklijk Instituut van de Tropeu. 17 pp.

Carucci, R. et Cupers, H. 1986. Projet de développement rural intégré de la vallée de Keita : résumé des activités 1984-1986. Rapport FAO, Rome, Italie : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 13 pp.

Charreau, C. 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance. Agronomie Tropicale 24(9):836-842.

Charreau, C. et Fauck, R. 1970. Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa. Agronomie Tropicale 25(2):151-191.

CTFT (Centre technique forestier tropical). 1980. Conservation des sols au sud du Sahara. Ministère de la Coopération, Paris, France : CTFT. 2ème éd. 296 pp.

Collinet, J. et Laforgue, A. 1979. Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute Volta. France : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. 129 pp.

Delwaulle, J.C. 1973a. Désertification de l'Afrique du sud du Sahara. Bois et Forêts des Tropiques 149 : 51-68.

Delwaulle, J.C. 1973b. Résultats de six années d'observation sur l'érosion au Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 150 : 15-37 pp.

Dennison, S. 1986. Evaluation des brise-vent de la vallée de la Maggia au Niger, *Activité* 1980, CARE. 8 pp.

Dugue P. 1986. Appropriation des techniques de lutte contre l'érosion et le ruissellement par les paysans du Yatenga (Burkina-Faso). Communication au séminaire sur l'aménagement hydro-agricole et les systèmes de production. Montpellier, France : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/ Département systèmes agraires. 20 pp. Multi-graphié.

Faho, Th. 1986. Expérience de l'organisme régional de développement (ORD) au Yatenga, en matière de lutte contre l'érosion et de gestion des eaux de surface (Burkina Faso, Communication présentée au Séminaire CIRAD/DSA Montpellier, France : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/ Département systèmes agraires. 15 pp. Multi-graphié.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1967. La défense des terres cultivées contre l'érosion hydraulique. Rome, Italie : FAO. 202 pp.

Fauk, R. 1977. Soil erosion in the Sahelian zone of Africa: its control and its effect on agricultural production. Pages 371-397 in *Symposium on rain-fed agriculture in semi-arid regions*, Riverside, CA, Etats-Unis.

Goudet, J.P. 1985. Equilibre du milieu naturel en Afrique tropicale sèche. Végétation ligneuse et désertification. *Bois et Forêts des Tropiques* 207: 3-15.

Grall, J. 1986. Niger : l'eau piégée. Les femmes, les artisans et les machines : une participation vécue in "Le Monde" du 10 juin 1986.

Hallam, G. et Van Campen, W. 1985. Reacting to farmers' complaints of soil erosion on intensive farms in southern Mali. Communication au Colloque de l'International Soil Conservation Association, Macaray, Vénézuéla. 13 pp.

Herblot, G. 1985. Une expérimentation "travail du sol en sec en Haute Volta". *Machinisme Agricole Tropical* 85 : 3-41.

Heusch, B. 1977. La conservation des eaux et des sols dans la haute vallée de Keita. Sogreah Grenoble/Niger. Ministère de l'Economie Rurale, Niger. 24 pp.

Hudson, N. 1973. Soil conservation. B.T. Batsford Ltd. Londres, Royaume-Uni. 320 pp.

Kilian, J. 1974. Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. *Agronomie Tropicale* 29 (2) : 141-153.

Kleene, P. et Vierstra, G. 1985. Contribution de la recherche-développement au développement agricole, IER/IRAT, Sikasso, Mali : Institut d'économie rurale/Institut de recherche agronomiques tropicales et des cultures vivrières. 30 pp.

Le Houerou, H.N. 1979. La désertification des régions arides. *La recherche* 99(10): 336-344.

Lovejoy, S.B. et Napier, T.L. 1986. Conserving soil : Sociological insights. *International Journal of Soil Conservation* 41(5) : 304-310.

Marchal, J.Y. 1979. L'espace des techniciens et celui des paysans. Histoire d'un périmètre anti-érosif en Haute Volta. Mémoire ORSTOM. Paris, France : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. N° 89 : 245- 252.

Marchal, J.Y. 1983. Société, espace et désertification dans le Yatenga (Haute Volta). La dynamique de l'espace rural soudano-sahélien, ORSTOM, Paris, France : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. 872 pp.

Mulard, M. et Groene, D. 1961. Les méthodes de lutte contre l'érosion du sol en Haute Volta. *Bois et Forêts des Tropiques* 79 : 7-16.

Peyre de Fabregues, B. 1985. Conséquences de la sécheresse dans le domaine pastoral de la République du Niger. *Bulletin des recherches agronomiques de Gembloux* 20(3-4) : 345-355.

Quilfen, J.P. et Milleville, P. 1983. Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le Nord de la Haute-Volta. *Agronomie Tropicale* 38(3) : 206-212.

- Reij, C.** 1983. L'évolution de la lutte antiérosive en Haute Volta depuis l'indépendance vers une plus grande participation de la population. Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam, Netherlands. 84 pp.
- Roose, E.J.** 1967. Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agronomie Tropicale* 22(2) : 123-152.
- Roose, E.J.** 1976a. Le problème de la conservation de l'eau et du sol en République du Bénin. Mise au point en 1976. FAO/ORSTOM Abidjan. Côte d'Ivoire : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. 34 pp. Multigraphié.
- Roose, E.J.** 1976b. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. Pages 60-74 *in* Soil erosion: prediction and control. Iowa, Etats-Unis : Soil Conservation Society of America.
- Roose, E.J.** 1978. Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du Centre Haute Volta—Gonsé : campagnes 1968 à 1974. *Cahiers ORSTOM : Pédologie* 16(2) : 193-223.
- Roose, E.J.** 1980. Dynamique actuelle de sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM Paris, Travaux et Documents n° 130. Thèse Doctorale, Université d'Orléans, France. 587 pp.
- Roose, E.J.** 1984. Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical. Conséquences sur les méthodes anti-érosives. *Machinisme Agricole Tropical* 87 : 4-18.
- Roose, E.J.** 1985a. Rapport de mission auprès de DRSPR sur la conservation de l'eau et des sols dans la région sud Mali. Ministère de l'Agriculture, IER/KIT, Bamako, Mali : Institut d'économie rurale/Koninklijk Instituut van de Tropeu. 42 pp.
- Roose, E.J.** 1985b. Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. *Bulletin des recherches agronomiques de Gembloux* 20 (3-4) : 505-537.
- Roose, E.J.** 1986a. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. *Cahiers ORSTOM. Pédologie* 22(2) : 81-92.
- Roose, E.J.** 1986b. Problèmes posés par l'aménagement des terroirs en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale, Communication au séminaire sur l'aménagement hydro-agricole et systèmes de production. 16-19 déc 1986. CIRAD, Montpellier, France : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. 20 pp.
- Roose, E.J. et Piot, J.** 1984. Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (Central Upper Volta), Zimbabwe-IASH N° 144 : 485-498.
- Serpentie, G.** 1986. Confrontation paysans-aménageurs au Yatenga (Burkina Faso). Communication au séminaire sur l'Aménagement hydro-agricoles et systèmes de production. CIRAD/DSA Montpellier, France : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/Division Systèmes agraires. 22 pp.
- Stocking, M. et Peake, L.** 1985. Erosion induced loss in soil productivity trends in research and international cooperation. Communication au Colloque de l'International Soil Conservation Association, Macarary, Vénézuéla.
- Valet, S.** 1985. Action villageoise bénévole de lutte antiérosive dans les unités expérimentales de Thyse-Sonkorong en 1984 (Siné Saloum, Sénégal). IRAT/DEVE Montpellier, France : Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières/Département Etudes et Valorisation de l'Eau. 63 pp.
- Van Campen, W. et Kebe, D.** 1986. Lutte antiérosive dans la zone cotonnière au Mali Sud. Communication au 3ème séminaire sur l'aménagement hydro-agricole et systèmes de production CIRAD/DSA Montpellier, France : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/Division systèmes agraires. 25 pp. Multigraphié.

Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. 1960. A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. Pages 418-425 (Vol.I) du 7e Congrès International des Sciences du sol.

Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. et Cross, B.V. 1971. A soil erodibility memograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 265 : 189-197.