

R (in a glom. Pado.)  
25/03/87

GESTION CONSERVATOIRES DES EAUX ET DE LA FERTILITE DES SOLS DANS

LES PAYSAGES SOUDANO-SAHELIENS D'AFRIQUE OCCIDENTALE :

Stratégies anciennes et nouvelles

Communication au Séminaire "Gestion des eaux, des sols et des plantes"  
(Niamey 11-16/1/87)

Par Eric ROOSE, D.R. en Pédologie à l'ORSTOM  
BP 5093 - 34033 MONTPELLIER France

RESUME

. Depuis le début du siècle, on observe dans cette zone une dégradation de la végétation, du sol et des ressources hydrauliques.

. L'analyse des résultats de 30 années de recherche de l'ORSTOM et du CIRAD montre que les risques de ruissellement, d'érosion hydrique et éolienne sont importants même sur faible pente. 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 classiques 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 tâche d'huile en milieu paysan.

. 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 (GCEFS) 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 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-attelage-fumier), l'association des arbres à objectifs multiples sur la zone cultivée, le cloisonnement progressif du paysage pour former un bocage aménagé et l'aménagement des bas-fonds, en vue de cultures intensifiées mécanisées.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 24 831

Cote : A

P 152

13 JUIN 1988

1.

55

## SUMMARY

. Since the beginning of the century, we have seen in this zone a deterioration in the vegetation, soil and water resources.

. The results from 30 years of research at ORSTOM and CIRAD show the importance of the risks of runoff, wind and water erosion even on gentle slopes. The intensity of runoff is frequently large because of the low infiltration capacity of the soils which are unstable and often form sealing crusts. The major factors contributing to reducing erosion are vegetation cover, cultural practices and slope management.

. Projects to control erosion have often failed because methods were adopted from other regions which were not adapted to the local conditions. The methods were too expensive, had low efficiency and were relatively unacceptable to the farmers. It was seen that the recipients did not maintain the antierosive system, which, more, was not widely spread.

. The author proposes a comprehensive and continuing approach (land use planning over 10 years) aimed at the village scale for landscape management based on the conservation of water and soil fertility and the balancing sustenance of production in the agriculture-forestry-pasture system. The author proposes to increase the amount of infiltration and to disperse the energy of runoff water by a system of tillage practices and the creation of surface structure such as permeable microdams (a traditional African practice), integration of breeding and cropping (fodder-animal traction-manure) association of multi-purpose trees with crops, and the division of land into management units for intensive mechanised cultivation and hydraulic management of the valley bottoms.

\* \* \* \*

## 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, baisse du niveau des nappes et finalement aridification du microclimat régional (MULLARD et GROENE, 1961 ; MARCHAL, 1979 ; ROOSE, 1985). 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 (extension 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 FABREGUE, 1985 ; Banque Mondiale, 1985 ; DELWAULLE, 1973 ; 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, 1985).

. 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'oeuvre 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).

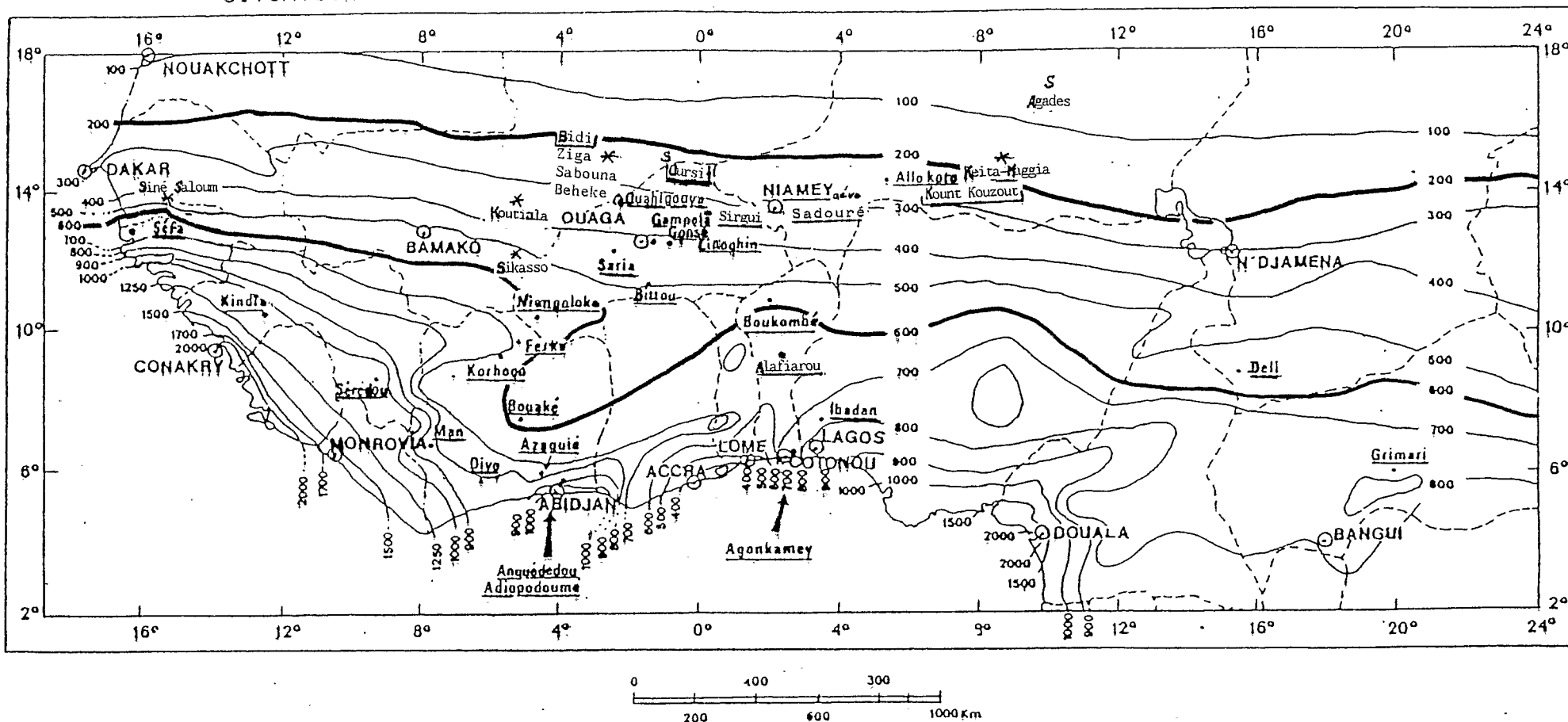
. Dans cette note, nous voudrions présenter rapidement un bilan de 30 ans de recherches par le CIRAD et l'ORSTOM sur le ruissellement et l'érosion dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger, Nord Bénin). Nous analyserons ensuite les causes des échecs de 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 culturelles bien connues de la tradition paysanne en vue d'augmenter la capacité d'utilisation des eaux de surface à l'échelle du terroir villageois.

### 1. Quelques résultats de la recherche

A la figure 1 sont situées 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 Wichmeier et Smith, 1960) d'après une analyse des données pluviométriques arrêtees en 1975 (avant la fin des années sèches).

# ESQUISSE DE LA REPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE ANNUEL MOYEN (RUSA DE WISCHMEIER) EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE

SITUATION DES PARCELLES D'EROSION ET DES SITES DE RECHERCHE - DEVELOPPEMENT



D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Dressée par ROOSE (E.J.)

### 1.1. Le milieu soudano-sahélien est 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 (P. de 600 à 900 mm) et soudano-guinéenne (P. 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 très élevées (55 à 80 mm/h 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, 1976-80) (fig. 1).

Les paysages les plus fréquents sur granite et sur grès (voir fig. 3) sont formés d'un plateau cuirassé plus ou moins vaste, d'un court éboulis de blocs, d'un long glacis gravillonnaire recouvert d'une voile sablo-limoneuse de plus en plus épaisse, 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 de bas de pente sont pauvres chimiquement (carences N-P... parfois K, pH 6 à 4) et de structure instable (peu de matière 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). Après quelques années de cultures (coton, arachide, niébé, ou divers haricots alternant avec sorgho, maïs, mil, fonio) avec labour et deux sarclages 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 trop 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 terriblement dégradée ces dernières années du fait de l'extension des cultures, du ruissellement et de la baisse de niveau des nappes, des 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 (HALLAM, VAN CAMPEN, 1985 ; BUS, 1985 ; QUILFEN et MILLEVILLE, 1983).

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

. L'exemple schématisé au tableau 1 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 densément peuplée, de production cotonnière intense où l'Institut d'Economie Rurale (IER de 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 (ROOSE, 1985 ; KLEENE et VIERSTRA, 1985).

Tableau 1 : Evolution de la situation sur une période couvrant une mémoire d'homme.

Epoque Source	Vers 1940 Souvenirs (+ mythiques)	en 1984 Observations	Vers l'an 2000 Extrapolations
- Pluies	900 mm	650	↑ 900 mm ?
- Végétation	Savane herbacée dense	S.S. dégradée	sols nus / cultivés ou surpâturés
- Cueillette	{ Fruits sauvages Poisson, gibier Bois	quelques vergers disparus/élevage de + en + rare près des villages	vergers en extension pisciculture? Elevage plantation d'arbres
- Terres	Riches fertiles	dégradées, asséchées	érodées ou restaurées
- Jachère	Longue	courte ou nulle	nulle
- Rivière	Permanente	6 mois sec creusement puits	Les puits s'assèchent sauf plan aménagé
- Population	200 habitants	1020	+ 1600 au rythme actuel (3%)
- Bétail	50 bovins	+ de 80 bovins + de 800 ovins, caprins + les transhumants	en croissance limité par manque de fourrage en s. sèche
- Surface cultivée par UP	1-3 ha	5 à 20 ha si traction animale	20 ha si motorisation
- Système	Culture itinérante extensif équilibré si <25 hab/km <sup>2</sup>	semi-intensif déséquilibré : nutriments-m.org. fourrage-bois chauffe	Extension limitée Intensification Diversification + Migration + longue

. 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 fertilité 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 nutriments et des matières organiques) traditionnellement utilisés pour la production fourragère en saison sèche.

Il faudrait dorénavant équilibrer les exportations par des apports de nutriments organiques et minéraux, gérer au mieux les matières organiques, maîtriser les adventices les plus concurrentielles et introduire des cultures associées en lignes y compris des arbres, 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 (Runnof 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 ( $0,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$  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  $0,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ ). 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 structures (DRS) les plus efficaces, mais aussi par l'équilibre du système de production agro-sylvo-pastoral et par la levée de contraintes socio-économiques (LOVEJOY, NAPIER, 1986).

### 1.3. 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 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 et sables fins, mais pauvres en matières organiques et instables, lorsque la végétation est clairsemée et que les vents soufflent à plus de 20 km/heure..

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, éviter les disques), couvrir le sol et réduire la vitesse du vent au sol par des haies et des arbres.

. L'érosion en nappe 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 = 100 à 500) vers les zones tropicales humides (R = 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 y sont plus nombreuses qu'en zone humide où le couvert végétal est beaucoup plus vigoureux (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, billons, 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 correspond des méthodes de lutte différentes.

Cause	Traitement
Energie du Vent	- Augmenter la rugosité du sol et du paysage (haies) - la stabilité du sol et le couvert végétal
Energie des pluies	- Couvrir le sol - 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 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 champs.

#### 1.4. Les facteurs modifiant l'érosion en nappe potentielle

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

##### 1.4.1 Le couvert végétal - Variation de 1 à 1/1000

Le facteur C (de 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
- 0,9-0,01 sous différentes cultures en fonction de leur densité, date de semis
- 0,2 à 0,8 (Md 0,4) sous coton, mil, sorgho, maïs, arachide, niébe.

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

- . Planter tôt, très dense quitte à éclaircir plus tard en fonction des besoins en eau ;
- . Ne défricher que les surfaces nécessaires et intensifier - 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.

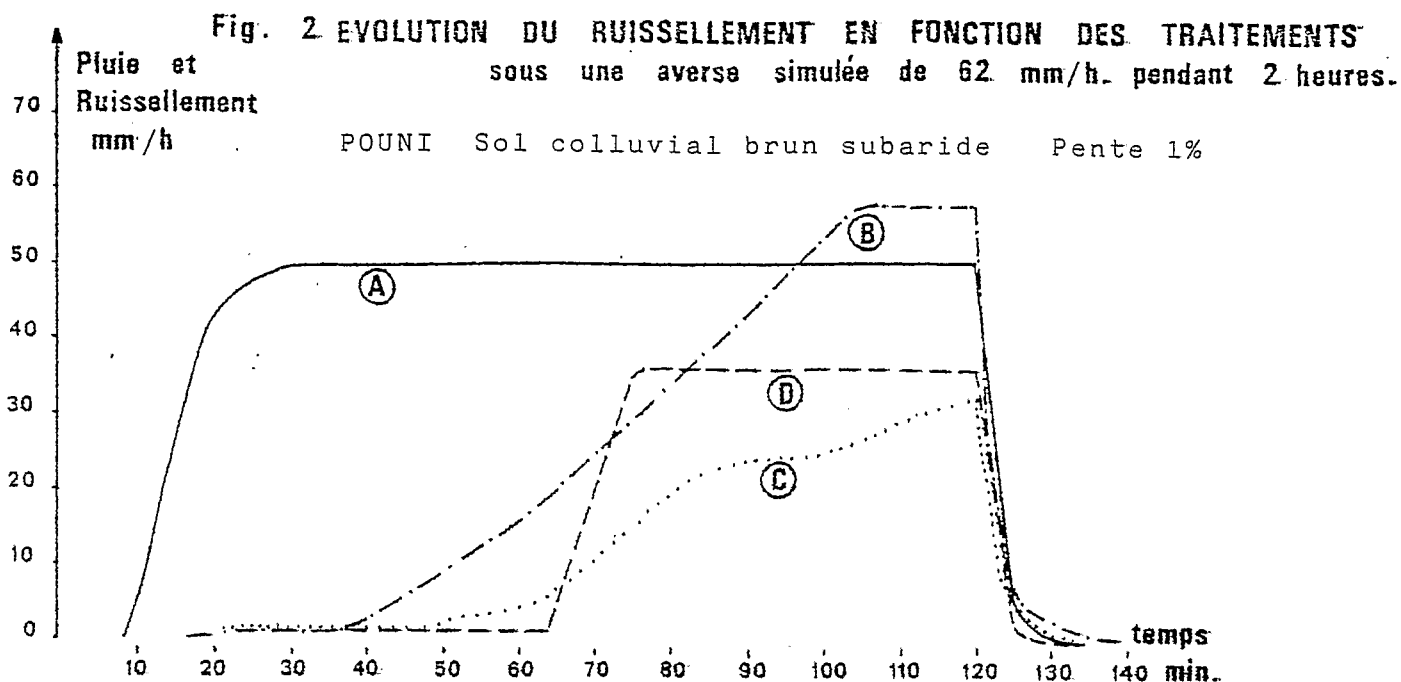
1.4.2 Les techniques culturales conservatrices - Variation 1 à  
1/10

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 mat. organiques attirant les termites (ZAI des Mossi sur glacis battant)
- . Travail grossier (socs ou dents) + affinage localisé du lit de semence
- . Billonnage isohypse cloisonné sur sol perméable et pente faible (sols sableux) (figure 2)
- . Planches isohypses avec réseau de drainage vers une citerne (syst. ICRISAT sur vertisol)
- . Travail du sol en sec . simple grattage à 2 dents sur 15-20 cm après récolte sur glacis battant
  - . labour de fin de cycle après récolte (zone S. guinéenne) (CHARREAU et FAUCK, 1969-1970) *Cherreau 1968*
  - . rootage 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 (Mat. organiques, CaCO<sub>3</sub>, R2O<sub>3</sub>, travail du sol en sec)
- . Augmenter la profondeur d'enracinement et la rugosité de surface (mottes, billons, croissants, Zai)
- . Gestion des matières organiques (résidus, racines, fumier) et des nutriments organiques et minéraux.



		COEFF. RUISS. %	RUISS. MAX. mm/h	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

D'après COLLINET-LAFFORGUE 1979

- 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).
- 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) est nettement supérieur à ceux des sols battants (4 à 12 mm/h).

#### 1.4.3 La pente topographique - Variation sur terres cultivées de 0,1 à 5

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

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

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.

L'inclinaison du versant n'augmente pas toujours le ruissellement, lequel peut être très fort sur des pentes faibles, par exemple sur les glacis battants. 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.

#### 1.4.4 L'érodibilité des sols - variation entre types de sols tropicaux 0,01 à 0,30 intra différents traitements d'un sol 1 à 3

L'érodibilité d'un sol dépend de propriétés analytiques des horizons superficiels (texture, mat. organiques, cations échangeables, R203) 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 échangeables 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.

Tableau 2 : Classification des sols fréquents en zone soudano-sahélienne en fonction de leur érodibilité croissante (FAUCK, 1977 ; ROOSE, 1980)

Sols ferrallitiques gravillonnaires argileux et riches en fer	Sols dunaires sableux	Vertisols argileux	Sols ferrugineux limoneux	Solonetz soloisé Sols arides limoneux poudreux
E. nappe → ravine	E. vent	Ruissellement Ravinement	Ruissellement Nappe → ravine	Ruissellement nappe ravine
K = 0,01 0,20	?	0,10	0,05 0,30	?

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 M.O. en 2 ans, de 50 à 90 % de leur capacité d'infiltration).

#### Moyens de lutte

- . Augmenter la cohésion et la stabilité des agrégats : ciments M.O., fer, gypse, CaCO<sub>3</sub>, pH > 5
- . Augmenter la profondeur de l'infiltration par sous solage en présence d'amendements

## 2. Stratégie classique de lutte antiérosive

### 2.1. Méthode

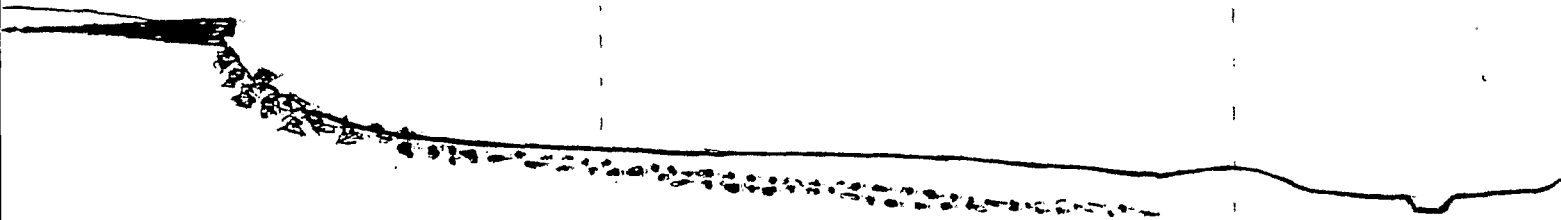
Il s'agit généralement de combiner trois approches complémentaires :

- 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, barrages, drains, terrasses et exutoires, etc...
- une définition de l'utilisation nouvelle des terres, adaptation des cultures et des techniques culturales (BENNET, 1933 ; FAO, 1967 ; HUDSON, 1973 ; HEUSCH, 1977 ; KILIAN..., 1974 ; ROOSE, 1978 et 80).

2.2. Exemple d'un aménagement type en milieu soudano-sahélien

FIG. 3 AMENAGEMENT TYPE EN MILIEU SOUDANO-SAHELIEEN

Plateau cuirassé	Talus éboulis	Glacis gravillon	Sablo .....	Glacis limoneux	Bas fond limono.....argileux
---------------------	------------------	---------------------	-------------	--------------------	---------------------------------



Système de production

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>{ Tradit. parcour extensif.</li> <li>{ amélioré : reforestation</li> <li style="padding-left: 20px;">protection, défens,</li> <li style="padding-left: 20px;">arbustes fourragers</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Cultures céréales en sec</li> <li>. Céréales - coton ou arachide</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Fourrages de contre saison</li> <li>. Jardins potagers</li> <li>RIZIERE</li> <li>VERGERS</li> </ul> |
|---|--|--|

Aménagements

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>. Rootage pour infiltration</li> <li>. Barrages collinaires et ½ lunes pour le bétail</li> <li>. Exutoire : murettes en pierres</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Diguettes et fossés de diversion</li> <li>. Exutoires aménagés pour évacuer le ruissellement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Réseau d'irrigation</li> <li>. Réseau de drainage</li> </ul> |
|---|--|---|

Suggestions actuelles

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>. Reforestation par enrichissement en fourragers et fruitiers</li> <li>. Rootage + ½ lunes pour les arbres</li> <li>Lignes de cailloux + litière de branchages</li> <li>. Impluvium + citerne familiale</li> <li>. Mise en défens périodique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Agroforesterie</li> <li>. Diversification,</li> <li>. Cultures associées</li> <li>. Segmentation du versant par { cordons de pierres</li> <li style="padding-left: 20px;">haies vives</li> <li style="padding-left: 20px;">arbres { à faible densité</li> <li style="padding-left: 20px;">à objectifs multiples</li> <li>. infiltration par { gestion des mat. organiques</li> <li style="padding-left: 20px;">travail du sol en sec</li> <li style="padding-left: 20px;">billonnage cloisonné</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Rizières +</li> <li>. Fourrages contre saison</li> <li>. Jardins { potagers</li> <li style="padding-left: 20px;">vergers</li> <li>. Microbarrages</li> <li>Gabions en cascades...</li> </ul> |
|--|--|---|

### 2.3. Analyse de cette approche technocratique

. Marchal (1979-83) a analysé en détail l'aménagement effectué par le GERES (1963-65) 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 :

2.3.1 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.

2.3.2 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 matériel) et sont très rarement justifiés par une culture rentable. STOCKING (1985) a 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.

2.3.3 Sur le plan technique (voir fig. 4) : 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 ravinements 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 4 on peut voir les principes et les critiques de la méthode des diguettes de diversion.

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

### 3. Stratégie nouvelle : la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols

#### 3.1. 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 conservatoire des eaux disponibles et la fertilité des sols.

. Cette nouvelle stratégie s'appuie sur trois principes.

3.1.1 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 conservatoires simples, adaptées au milieu physique et au contexte économique local ; qu'ils puissent expérimenter sur leur 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 itérative entre les réalités de terrains, les gestionnaires et les spécialistes naît une confiance et une formation réciproque très enrichissante.

3.1.2 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 (voir fig. 5). 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 4 continents et ont fait leur preuve depuis des siècles (ROOSE, 1986).

3.1.3 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.



Fig. 4 : Méthode des fossés, diguettes ou terrasses de diversion.

• L'érosion est fonction de :

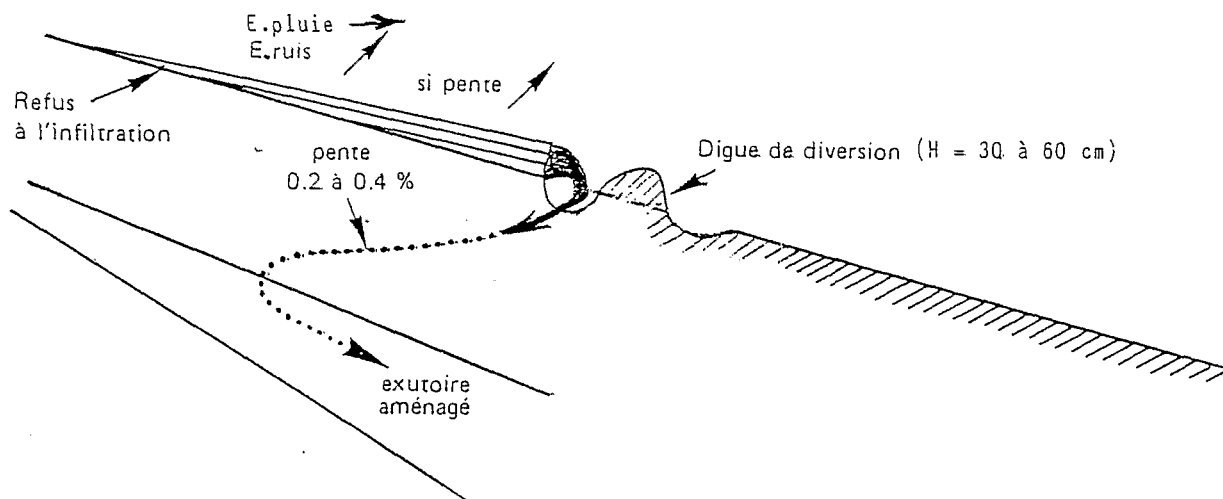
E.pluie l'énergie des pluies (constante tout le long de la pente)

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

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

• Les terrasses

- peuvent évacuer l'Énergie du Ruissellement accumulée
- ne peuvent pas réduire l'Énergie des pluies ni la Dégradation du Sol



INCONVENIENTS :

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 nutriments pour les champs cultivés en aval

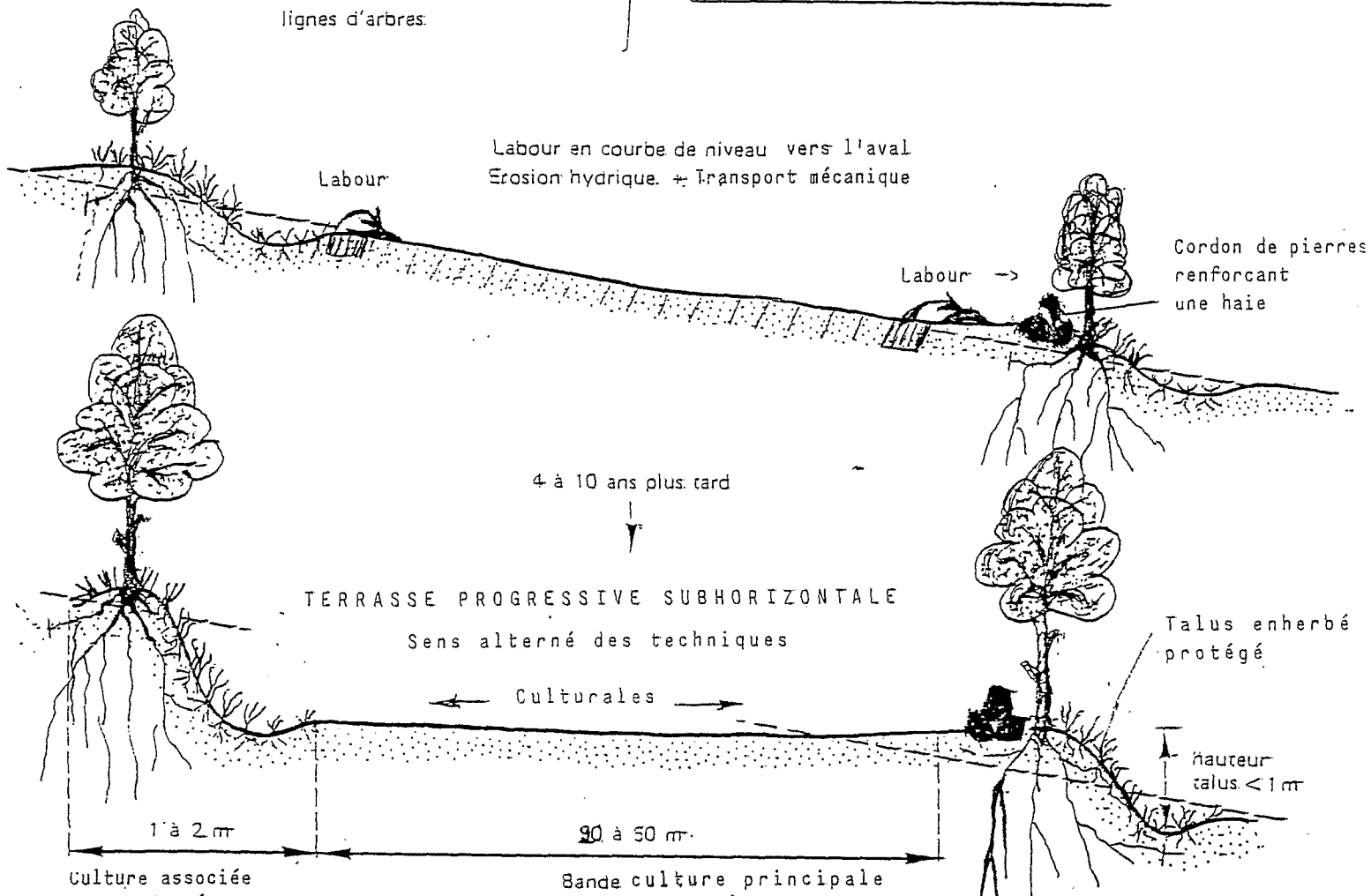
5. L'aménagement doit rompre s'il advient une pluie de fréquence inférieure à 1/10 ans
6. Variation de largeur des champs cultivés (mécanisation difficile)
7. N'arrête pas l'érosion en nappe ni la dégradation
8. Finalement, risques graves de ravinement s'il y a rupture des digues (1 fois en 4 à 10 ans,
9. Accélération du temps de concentration des eaux { gros débits de pointe  
érosion marigots et  
ravinement régressif

Fig. 5 : Méthode des microbarrages perméables,

MICROBARRAGES PERMEABLES

cordons de pierres, de paille  
bandes d'arrêt enherbées  
haies vives  
lignes d'arbres.

aboutissent à des Terrasses Progressives



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/an de terre déplacée)
- Reptation lente du sol
- Accroissement des interactions biologiques : racines, litière, 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, irrigue l'aval

### 3.2. Exemples d'aménagements en cours

#### 3.2.1 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, VAN CAMPEN, 1985 ; VAN CAMPEN, KEBE, 1986) :

##### 3.2.1.1 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 servent 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)

##### 3.2.1.2 Se protéger contre le bétail et les eaux rejetées par le voisin

- . haies vives + arbres - piquets verts autour des exploitations.

Notez les implications sur le statut foncier des terres aménagées.

##### 3.2.1.3 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) ;
- . en complément tous les 25 mètres 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 lère 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 pailleux, branchages de légumineuses de brousse non apêtées.

##### 3.2.1.4 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 a sec, maîtrise du plan d'eau et du drainage.
- . microbarrages 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).

3.2.2 Dans le Yatenga (NW du Burkina Faso), les Mossi préfèrent commencer par organiser leur parcelles individuelles (cordons de pierres ou diguettes en terre) souvent dispersées dans le paysage avant d'aménager les zones communautaires (bas fond et parcours des hauts de versant). (DUGUE, 1986 ; FAHO, 1986 ; SERPANTIE, 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 1/2 lune pour stocker l'eau pour le bétail et pour l'irrigation d'appoint de quelques milliers de m<sup>2</sup> de culture précoce assurant la soudure.

3.2.3 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).

3.2.4 Au Niger (vallées de Keita et de la Maggia), 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.

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, CARUCCI, CUPERS, 1986) intervient à plusieurs niveaux pour répondre aux besoins exprimés par les paysans :

- piégeage des eaux (fossés), fixation des ravines (seuils gabionnés) et reforestation des versants raides ;
- récupération des glacis battants et des plateaux abandonnés 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.

### 3. 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 D.R.S. 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.

#### IV Conclusions

1. 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 nutriments à l'échelle du champ, même si la pente est faible ; en effet les sols sont sensibles à la battance et les pluies agressives.

2. 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.

3. 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.

4. La nouvelle stratégie tient mieux compte des besoins exprimés et des possibilités des villageois : elle met en oeuvre la méthode des microbarrages perméables, connue dans les traditions paysannes de nombreux pays et maîtrisable entièrement par chaque individu.

5. 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.

6. Réaménager le paysage en vue de sa gestion conservatoire cela prend du temps (5 à 10 ans) et dépend en définitive de la volonté paysanne et de contingences socio-économiques.

Liste Bibliographique de référence

42 - cités dans le texte  
25 - O sur le terrain pour la carte  
42 - A non cités ici.

O Anonyme, 1981. Etude du ruissellement et de l'érosion à Sirgui (HAUTE VOLTA) - Min. Dév. Rural/HER Ouaga - 30p - multigr + Ann.

• Banque Mondiale, 1985. La désertification dans les zones sahé-liennes et soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest. Banq. Mond. Washington, 71 p.

A BEDEL (J.), KOOHAFKAN (P.), ROOSE (E.), 1984. Erosion hydrique et restauration des sols : 15 ans de travaux menés par les organismes de recherche et les sociétés de développement français. Minis. Environ. et Agric. ENGREF Montpellier. 79 p. + 3 Ann.

• 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. 90 p. multigr. + Ann.

• Bennet (H) 1939. Elements of Soil Conservation - New York, Mc Graw-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. Rev. Bois & Forêts Trop., 207 : 23-39

O BIROT (Y.) et GALABERT (J.), 1967. L'amélioration des rendements en agriculture par aménagements antiérosifs et techniques culturales visant à la conservation de l'eau et du sol dans la région de l'ADER-DOUTCHI MAGGIA (Rep. NIGER) station d'Allokoto. Prem. observ. en 1966. Rapport multigr. CTFT NIGER-HAUTE VOLTA ; 18 p.

O BIROT (Y.), GALABERT (J.), ROOSE (E.), ARRIVETS (J.), 1968. Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de l'érosion de Gampela : 1968. Rapport mult. CTFT., 40 p.

• BRUNET-MORET (Y) 1963. Etude générale des averse exceptionnelles en Afrique occidentale ; Haute Vol. ORSTOM-CIEM, Paris, 23 p.

• BUS (G.), 1985. A soil conservation research project in southern Mali (within the context of a farming systems research and development project). Intern. Symp. "Effectiveness of Rural Development" - KIT, Amsterdam. 17p. mult.

• CARUCCI (R.), CUPERS (H.) 1986. /Projet de développement rural intégré de la Vallée de Keïka; résumé des activités

• CHARREAU (C.), 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance. Rapport FAO, 13 p. Agron. Trop. 24(9) : 836-842

• CHARREAU (C.) et FAUCK (R.), 1970. Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa. Agron. Trop. 25,(2) : 151-191

A CHAUVEL (A.), 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Tvx et Doc. de l'ORSTOM, n° 62, 532 p.

O CHRISTOÏ (R.), 1966. Mesure de l'érosion en HAUTE-VOLTA - Oléagineux, 21,(8-9) : 531-534

▽ CILSS, 1978. Synthèse du séminaire de Ouagadougou. La mise en valeur des terres neuves au Sahel. CILSS, Ouagadougou, 10-13 oct 1978, 154 p.

- ✓ CILSS, 1981. Synthèse de l'atelier de Bamako "Intensification des cultures pluviales dans les pays du Sahel". CILSS, Bamako, 12-14 mai 1981, 280 p.
- CTFT, 1973. Défense et restauration des sols, Gampela 1972. CTFT/Minist. Agric. de Haute-Volta, Ouagadougou, 60 p.
- C.TFT, 1980. *Conservation des sols au Sud du Sahara. Paris. Min. Coop. 2<sup>e</sup> éd., 296 p.*
- COLLINET (J.), LAFFORGUE (A.), 1979. Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM Abidjan, 129 p. Multigr.
- COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.) et al., 1980. Etude LAT/03 = ruissellement, infiltration et érosion en zones sahé-liennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la première opération : la mare d'OURSIL. ORSTOM-DGRST, Adiopodomé, 14 p.
- COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), HOEPFFNER (M.), HARANG (P.), PEPIN (Y.), 1980. Etude LAT/03 = ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la 2<sup>e</sup> opération NIGER, Galmi et cuvette d'Agadez. Rapport DGRST/ORSTOM = Adiopodomé. 38 p.
- DABIRE (B.), LIDON (P.), 1980. Etude sur le ruissellement et l'érosion à Sabouna (HAUTE-VOLTA). Evaluation des techniques de lutte antiérosive. IPD/AOS, Ouagadougou, 102 p.
- △ DANCETTE (C.), 1984. Conservation des eaux et du sol au SENEGAL. Rapport national au séminaire CILSS, CAP VERT, 62 p.
- △ DANCETTE (C.), SARR (L.), Dégénération et régénération des sols dans les régions centre et nord du SENEGAL. Principaux résultats de la recherche et orientation de ses travaux. Bambey CNRA-ISRA, 28 p. multigr.
- DELWAULE (J.C.), 1973. Désertification de L'Afrique du Sud du Sahara. Rév. Bois et Forêts des Tropiques n° 149 in contribution à l'étude de la désertification de L'Afrique Tropicale Sèche. pp. 51-68
- DELWAULE (J.C.), 1973. Résultats de six années d'observations sur l'érosion au Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 150 = 15-37
- DENNISON (S.) 1986. *Evaluation des bris-vent de la vallée de la Nougga au Niger, Achint*
- DUGUE (P.), 1986. Appropriation des techniques de lutte contre l'érosion et le ruissellement par les paysans du Yatenga (BURKINA FASO). Comm. Séminaire "Aménagements hydro-agricoles et syst. de production", CIRAD/DSA Montpellier. 20 p. multigr. 1986 - Gare 8 p.
- △ ELLSASSER (K.), 1986. Projet de recherche développement à dominante agricole au Yatenga (BURKINA-FASO) : rapport de mission CIRAD/DSA 21/8-19/9/86 - 13 p. + Ann.
- 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). Comm. Séminaire CIRAD/DSA Montpellier = 15 p. multigr.
- FAO, 1967. *La défense des terres cultivées contre l'érosion hydraulique.* FAO, Rome, 202 p.

- △ FARIZY (P.), 1986. Elevage : la réalité cachée. Inter Tropiques 18 = 4-7
- △ FAUCK (R.), 1954. Les facteurs et les intensités de l'érosion en Moyenne Casamance (SENEGAL). C.R. V<sup>o</sup> congrès AISS, Léopoldville août 1954, vol. 3 = 376-379
- △ FAUCK (R.), 1956. Erosion et mécanisation agricole. Bureau des sols en AOF. 24 p
- △ FAUCK (R.), 1975. Erosion et mécanisation. IITA, Ibadan, 8 p.
- FAUCK (R.), 1977. Soil erosion in the Sahelian Zone of Africa : its control and its effect on agricultural production. Symposium on "rainfed agriculture in semi-arid regions. RIVERSIDE : 371-397
- △ FOURNIER (F.), 1967. "La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain". Sols Africains, 12(1) : 5-53
- △ FRANQUIN (P.), 1985. Météorologie et agrostratégie pour le Sahel. La Météorologue, 7(8) : 1-7
- △ GOUDET (J.R.), DEPOMMIER (P.), 1983. Agroforesterie : foresterie et systèmes de production. Etude de cas. Doc. de travail. Nogent CTET, 71 p. + biblio.
- GOUDET (J.P.), 1985. Equilibre du milieu naturel en Afrique Tropicale sèche. Végétation ligneuse et désertification. Revue Bois et Forêts des Tropiques, 207 = 3-15
- △ GOUDET (J.P.), 1986. Note sur les actions de recherche en conservation des eaux et du sol menées par le CTET en zone soudano-sahélienne. Comm. séminaire CIRAD/DSA "Aménagements hydro-agricoles et système de production Montpellier, 16-19/12/86, 4 p.
- △ GORSE (J.), 1985. La désertification dans les zones sahéliennes et soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest. Comm. Colloque GEMBOUX (Belgique) 60 p. multigr.
- GRALL (J.), 1986. Niger : l'eau piégée. Les femmes, les artisans et les machines : une participation vécue, in "Le Monde" du 10/6/86 p. 41
- △ GRANIER (P.), 1984. Bilan des actions de recherche concernant le développement des productions animales au Sine-Saloum (SENEGAL), CIRAD/DSA Montpellier (France) 28 p. multigr.
- △ GROUZIS (M.), 1984. Restauration des pâturages sahéliens. Synthèse des travaux de reboisement dans la région de Markoye. Rapport ORSTOM/Haute-Volta. 26 p. multigr.
- △ GUISCAFRE (M.-J.), 1961. Influence des aménagements antiérosifs sur l'écoulement des Mayos des Kapsiki. Bassin versant de Magode. Rapport ORSTOM-IRCAM, 40 p. multigr.



o HALLAM (G.), VAN CAMPEN (W.), 1985. Reacting to farmers complaints of soil erosion on intensive farms in Southern Mali. Comm. Coll. ISCO, Maracay (Vénézuéla), 13 p. multigr.

Δ HALLAM (G.), VERBEEK (K.), 1986. Evaluation économique des travaux antiérosifs faits par les paysans en zone Mali-Sud. Min. Agric. IER-DRSPR Bamako/KIT-IRRT, 13 p. multigr.

o HERBLLOT (G.) 1985 - Une expérimentation "havait du sol en zone Haute-Volta". Mach. Agric. Trop. 25: 3-4

Δ HEUSCH (B.), 1977. Etude du colmatage de la retenue d'Ibohamane (Niger) - Sogreah-Min. Génie Rural du Niger, 27 p. multigr.

o HEUSCH (B.) <sup>1977-</sup> La conservation des eaux et des sols dans la haute vallée de Keita. Sogreah Grenoble/Niger Minist. Economie Rurale 24 p.

o Hudson (N.) 1973. Soil Conservation. B.T. Batsford Limited London, 320p.

Δ KAMPEN (J.), KRANTZ (B.A.), 1974. Soil and water management in the semi-arid tropics (India). Rapport informel of ICRISAT 33 p

o KLEENE (E.) et VIERSTRA (G.), 1985. Contribution de la Recherche-Développement au développement agricole

Δ LASSAILLY (F.), 1985. Les plantations forestières : une gageure ? IER/IRAT, Sébasse, 30p. Inter Tropiques 12 : 4-7

o LE HOUEROU (H.N.), 1979. La désertisation des régions arides. La Recherche 99 (10) : 336-344

o LIDON (B.), QUIDEAU (P.), SOLA (G.), MORANT (P.), SEDOGO (M.), 1983. Etude du ruissellement sur sol ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Résultats de 4 années (1978-81) de mesures à la station de Saria. CIEH/IRAT-H.U. 27 p. multigr. + Ann.

o LOVEJOY (S.B.), NAPIER (T.L.) 1986 - *Conserving Soil : Sociological Insights* - J.S. W. Conserv. 41, 5: 304-310

o MARCHAL (J.Y.), 1979. L'espace des techniciens et celui des paysans. Histoire d'un périmètre antiérosif en Haute-Volta in Mémoire ORSTOM Paris n° 89 : 245-252

o MARCHAL (H.Y.), 1983. Société, espace et désertification dans le Yatenga (Haute-Volta). La dynamique de l'espace rural soudano-sahélien. ORSTOM Paris, 872 p.

Δ MARTIN (P.), 1986. Conditions et premiers résultats de la prise en charge des aménagements de conservation des eaux et du sol au Niger. Comm. 1-3 Sémin. "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production". CIRAD/DSA Montpellier, 14 p. multigr.

Δ MIETTON (M.), 1981. Lutte anti-érosive et participation paysanne en Haute-Volta. Géo-Eco-Trop, 5 (1) : 57-72

o MIETTON (M.), 1984. Ruissellement et érosion sur petits bassins versants (IMIGA-ZORGO - Burkina Faso). Rapport de campagne 1983. Haute Volta, Min. Dév. Rural : 23 p. multigr. + Ann.

Δ MILLINGTON (A.C.), 1984. Indigenous Soil Conservation Studies in Sierra Leone in Proc. of the Harare Symposium IAHS publ. n° 111 : 529-538

o MULARD (M.), GROENE (D.), 1961. Les méthodes de lutte contre l'érosion du sol en Haute-Volta. Bois et Forêts des Tropiques, 79 : 7-16

o KILIAN (J.) 1974. Etude de milieu physique en vue de son aménagement. Agron. Trop. 29, 2 : 141-153

- NIANG (M.), 1982. Les recherches en matière de conservation des sols et de l'eau dans les unités expérimentales du Sine-Saloum (SENEGAL). Rapport ISRA
- OLIVRY (J.), FLORY (J.), 1985 et 1986. Etudes hydrologiques dans la région de Thyse Kaymor (SENEGAL). Campagne 1984 et 1985 Rapports-ORSTOM-ISRA.
- PEYRE DE FARREGUES (B.), 1985. Conséquences de la sécheresse dans le domaine pastoral de la Rép. du Niger. Comm. Colloque GEMBOUX 7 p. multigr.
- △ PIERÍ (C.), 1984. L'érosion : conséquences sur le potentiel de production des terres. Techniques de contrôle et leur application Machinisme Agric. Trop. 87 : 37-42
- PIOT (J.), MILLOGO (E.), 1980. Rapport de synthèse de 6 années d'étude du ruissellement et de l'érosion à Linoghin (Haute-Volta) CTFT/H.V. Ouagadougou 47p. multigr.
- PIOT (J.), MILLOGO (E.), 1980. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. Etude de l'érosion et du ruissellement. Synthèse 1977-78-79 : Koel (Mare d'Oursi) Haute-Volta. DGRST/CTFT Ouagadougou, 16 p. + 19 ann.
- △ PONTANIER (R.), MOUKOURI KUOH (H.), SAYOL (R.), SEINY-BOUKAR (L.), THEBE (B.), 1984. Comportement hydrique et sensibilité des sols à l'érosion de quelques sols du Nord Cameroun (1ers résultats : 1982-84) ORSTOM-CNS IRA Yaoundé 76 p.
- QUILFEN (J.P.), MILLEVILLE (P.), 1983. Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le Nord de la Haute-Volta. Agron. Trop. 38 (3) :
- △ RAPP (A.), BERRY (L.), TEMPLE (P.), 1972. Erosion and Sedimentation in TANZANIA. Geografiska annales, 54 A, N° 3 et 4
- REIJ (C.), 1983. L'évolution de la lutte antiérosive en Haute-Volta depuis l'indépendance vers une plus grande participation de la population. Inst. for Environmental Studies Free University Amsterdam : 84 p. multigr.
- ROOSE (E.J.), 1967. Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agron. Trop. 22 (2) : 123-152
- △ ROOSE (E.J.), BERTRAND (R.), 1971. Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain. Agron. Trop. 26 (11) : 1270-1283
- △ ROOSE (E.J.), <sup>1971</sup> Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau Mossi (Haute-Volta). ORSTOM Abidjan, 22 p. multigr.
- ROOSE (E.J.), 1976. Le problème de la conservation de l'eau et du sol en Rép. du BENIN. Mise au point en 1976. FAO ORSTOM Abidjan, 34 p. multigr.
- Roose (E.J.), 1976. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. in "Soil erosion: prediction and control" S.C. S. A., IOWA USA. : 60-74.

- ROOSE (E.J.), 1978. Pédogénèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du Centre Haute-Volta. Gonsé : campagnes 1968 à 1974. Cah. ORSTOM Sém. Pédol. 16(2) : 193-223
- ROOSE (E.J.) et al., 1979. Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria (Haute-Volta : campagne 1971-74) ORSTOM Paris, 123 p
- ROOSE (E.J.), 1980. Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM Paris, Série Travaux et Doc. n° 130. Thèse Doct. ès Sciences, Univers. Orléans, 587 p
- △ ROOSE (E.J.), FAUCK (R.), LELONG (F.), PEDRO (G.), 1981. Modifications fondamentales de la dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux d'Afrique Occidentale sous l'influence de la mise en culture. C.R. Acad. Sc. Paris, t 292. Série II, p. 1457-1460
- △ 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.), PIOT (J.), 1984. Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (Central Upper Volta). Proc. Harare Symposium, Zimbabwe-IASH n° 144 / 485-498
- ROOSE (E.), 1985a. Rapport de mission auprès de la DRSPR : Conservation de l'eau et des sols dans la région sud Mali. Min. Agric./IER Bamako/KIT Amsterdam, 42 p. multigr.
- ROOSE (E.J.), 1985b. Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. Comm. Colloque Intern. de Gembloux 9-11 oct. 1985 "Développement agricole et conservation du patrimoine naturel du Tiers Monde". ORSTOM Montpellier, 30 p. multigr.
- ROOSE (E.J.), 1986. 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. Cah. ORSTOM Pédol., 22(2) : 81-92
- ROOSE (E.J.), 1986. Problèmes posés par l'aménagement des terroirs en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occid. Comm. Sémin. "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de prod." CIRAD Montp. 16-19/12/86, 20 p. multigr.
- △ SAMRETH (L.), 1985. Technique de lutte anti-érosive sur les versants du plateau central du BURKINA FASO. Cahier recherche-dév. 6 : 25-29
- △ SAVONNET (G.), 1959. Méthodes employées par certaines populations de la Haute-Volta pour lutter contre l'érosion. Notes africaines n° 78 / 38-40

X Stocking (M.), Peake (L.), 1985. Erosion induced loss in soil productivity trends in research and international cooperation. Comm. in ISCO 4 HARACAY Venezuela 3-9 nov. 1985.  
SIBAND (P.), 1972. Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance. Principaux résultats. Agron. Trop. 27(5) : 574-591

SERPANTIE (G.), 1986. Confrontation paysans-aménageurs au Yatenga (Burkina-Faso). Comm. 1-9 Sémin. "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production" CIRAD/DSA Montpellier 22 p.

X Stocking

VALENTIN (C.), 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez - Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3<sup>e</sup> Cycle Paris VII, 229 p + Ann.

VALENTIN (C.), 1982. Effects of grazing and trampling around recently drilled water-holes on soil deterioration in the Sahelian zone (Northern Senegal). Comm. Intern. Conf. "Preserve the land" Honolulu janvier 1983, 4 p. multigr.

VALET (S.), 1985. Action "test d'aménagement de la parcelle pour l'amélioration du bilan hydrique et la lutte contre l'érosion. Essais en milieu paysan du Sine Saloum en 1984. Thysse Kaemor. ISRA/IRAT DEVE Montpellier 73p. + Ann.

VALET (S.), 1985. Action villageoise bénévole de lutte antiérosive dans les unités expérimentales de Thysse-Sonkorong en 1984 (Sine Saloum - Sénégal). IRAT/DEVE Montpellier 63 p. multigr.

VANCAMPEN (W.), KEBE (D.), 1986. Lutte antiérosive dans la zone cotonnière au Mali Sud. Comm. 3<sup>e</sup> sémin. "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production" CIRAD/DSA Montpellier 25 p. multigr.

VERNEY (R.), WILLAIME (P.), 1965. Résultats des études de l'érosion sur parcelles expérimentales entreprises au Dahomey. Comm. Coll. "Conservation et amélioration de la fertilité des sols" : Khartoum 1965. OUA/STRC publ. n° 98 : 43-53

VUILLAUME (G.), 1968. Premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne. Bassin représentatif de Kountkouzout (Niger). Cah. ORSTOM sex. Hydrol. 5, (2) : 33-56

VUILLAUME (G.), 1969. Etude analytique du ruissellement et de l'érosion. Bassins versants représentatifs de Kountkouzout, Rép. du Niger. Paris, ORSTOM? 1969-rapport multigr. 137 p + Ann.

VUILLAUME (G.), 1969. Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne (Kountkouzout, Niger). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 6 (4) : 87-132

WRIGHT (P.), 1985. La gestion des eaux de ruissellement au Yatenga (Burkina Faso). OXFAM, Ouagadougou, 38 p.

ZIDA (O.), 1982. Analyse de différentes techniques de lutte contre l'érosion dans le département du Centre Nord de Haute-Volta. Mém. Fin d'Etudes ISP, Univ. Ouagadougou 106 p.

Wischmeier (W.H.), SMITH (D.D.) 1960 - A universal soil loss estimating equation for farm conservation farm planning - 7<sup>th</sup> Congress Int. Soil vol I = 418-425 -

Wischmeier (W.H.), Johnson (C.B.), CROSS (B.V.), 1971 - A soil erodibility nomograph for farm land and construction sites. J. S. W. Geogr. 26 5 : 189-192 -