

# 17

## **Réhabilitation d'un écosystème semi-aride au Sénégal par l'aménagement des éléments de paysage**

J. ALBERGEL <sup>1</sup>, M. DIATTA <sup>2</sup>, M. GROUZIS <sup>1</sup>, P. PEREZ <sup>3</sup>, M. SENE <sup>2</sup>

1. *ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal*

2. *ISRA, Kaolack, Sénégal*

3. *CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France*

La dégradation de l'environnement en Afrique, qui se manifeste par une érosion hydrique intense, une baisse de la fertilité des sols et une réduction importante du couvert végétal, est maintenant bien établie [1-4]. On l'associe aux effets conjugués de facteurs naturels, climatiques essentiellement [5-7] et anthropiques [8-10].

Cette dégradation des systèmes écologiques soudano-sahéliens réduit les potentialités de production des terres et affecte les conditions de vie des populations. Ces systèmes doivent donc être régénérés si l'on veut y maintenir durablement une activité socio-économique. De grands programmes de lutte contre la dégradation des terres ont été initiés, mais ils ont le plus souvent échoué parce qu'ils ont été conduits d'une manière trop sectorielle [11-13].

Compte tenu de la diversité des activités qui se déroulent dans un espace rural et de leurs interactions, il nous a paru important d'orienter les opérations de réhabilitation de cet espace, en fonction des caractéristiques écologiques des éléments du paysage qui le constituent et de leurs usages par les populations. Le travail que nous présentons concerne le bassin arachidier, première région agricole du Sénégal, qui assure près de la moitié de la production nationale de l'arachide et du mil. Ces deux cultures occupent plus de 90 % des quelques deux millions d'hectares cultivables. Il a été conduit dans le cadre d'un

programme de "recherche/ développement" mobilisant plusieurs instituts (ISRA, CIRAD, ORSTOM...) et soutenu par plusieurs programmes internationaux (STD de la Commission des Communautés Européennes, Programme International Géosphère Biosphère).

A la fois pluridisciplinaires et opérationnelles, les recherches menées ont trois objectifs :

- identifier et hiérarchiser les contraintes physiques à la production végétale et à la préservation des ressources renouvelables ;
- tester des schémas et des techniques de conservation et de gestion des eaux et des sols ;
- intégrer les propositions au niveau du terroir villageois dans le cadre de la gestion de l'espace et des ressources.

Dans cet article, les caractéristiques de la zone d'étude et les méthodologies utilisées sont tout d'abord rappelées. Les résultats obtenus sur différents types d'aménagements appropriés aux unités de paysage et aux échelles d'intervention (parcelle paysanne, terroir) sont ensuite présentés.

## Données et méthodes

### Présentation de la zone d'étude et de sa problématique

La zone d'étude, qui s'étend sur environ 2 000 km<sup>2</sup>, est située dans le sud du Sine-Saloum. Elle est limitée à l'ouest et au nord par le Bao-Bolon, affluent de la Gambie, à l'est par le réseau hydrographique du Naniji-Bolon et au sud par la frontière avec la Gambie (Figure 1).

La zone d'étude est sous la dépendance d'un climat soudano-sahélien caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche (7 à 9 mois) et d'une saison pluvieuse courte en été (3 à 5 mois). La moyenne annuelle des précipitations sur la période 1930-1990 est de 820 mm ; elle n'est que de 664 mm pour les deux dernières décennies (1970-1990). Cependant, ce déficit pluviométrique s'accompagne d'un maintien de la fréquence d'apparition des événements pluvieux les plus agressifs [14].

Le modelé général de la région est un ensemble de vastes plateaux tabulaires de 30 à 60 m d'altitude, entaillé par un réseau de larges vallées à faible pente [15]. Au quaternaire, les pédogenèses successives se sont imprimées sur les facettes de ce modelé [16, 17].

La zone centrale des plateaux, dépourvue de cuirasse, présente des sols ferrugineux tropicaux. Leur bordure, indurée à faible profondeur, est limitée par un talus discontinu.

Les terres des plateaux, anciennement couverts d'une savane arborée dense, sont soumises à un défrichement massif. Sur les talus, la forte charge en éléments grossiers rencontrée dès la surface rend les sols impropres aux cultures. Une brousse arbustive plus ou moins dégradée y subsiste, constituée principalement de combretacées (*Combretum glutinosum* Pers. ex DC, *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. et Perr., *Guiera senegalensis* J. Gmel.) auxquelles s'ajoutent *Acacia macrostachya* Reichenb ex Benth. et *Feretia apodanthera* Del. Ces cinq espèces constituent plus de 70 % du peuplement. *Bombax costatum* Pellgrin et Vuillet, *Lannea acida* A. Rich., et *Stercuria setigera* Del. représentent les espèces compagnes.

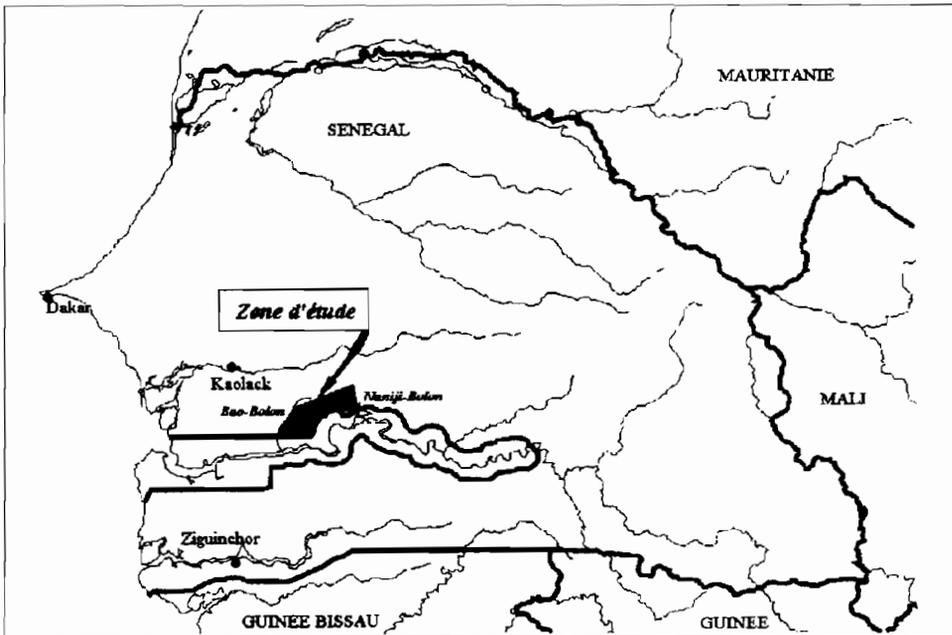


Figure 1. Situation de la zone d'étude.

Au pied des talus, les versants se composent d'un glacis amont et d'une terrasse très étendue. Les glacis sont caractérisés par la présence de sols peu évolués, d'apport colluvial, sur gravillons et cuirasse ferrique. De défriche récente, ces sols se dégradent très rapidement dès la mise en culture. La végétation naturelle résiduelle comprend *Icacina senegalensis* A. Juss., *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. et *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redhead. Les deux premières espèces représentent plus de 60 % du peuplement, mais c'est *Cordyla pinnata* qui confère à cette formation végétale sa physionomie de «parc» [18].

La terrasse présente des sols ferrugineux tropicaux, lessivés, remaniés, sur colluvio-alluvions. Elle constitue le lieu d'occupation humaine traditionnelle. Seuls quelques représentants de la végétation arborée naturelle subsistent : *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich. et *Ziziphus mauritiana* Lam. Depuis quelques années, l'absence chronique de fumure, le désouchage intensif et la mise en culture continue provoquent une baisse rapide de la fertilité [19].

Les berges qui relient la terrasse au bas-fond ont une pente qui varie de 3 % à 4%. Elles sont formées de sols peu évolués, d'apport alluvial. Sableux et pauvres chimiquement, ces sols sont pourtant mis en culture car faciles à travailler et offrant de bonnes possibilités d'enracinement pour les cultures. Leur situation topographique est favorable à l'érosion régressive. Dans les bas-fonds proprement dits, les sols sont peu évolués, d'apport alluvial, hydromorphes sur alluvions récentes. *Acacia seyal* Del., *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze et *Terminalia macroptera* Guill. et Perr. (plus de 60 du peuplement) colonisent cette unité. Les principales contraintes de leur mise en valeur agricole sont les crues violentes qui les balayent et les apports de sable produits par l'érosion intense des versants [20].

La densité de population est estimée à 65 habitants/km<sup>2</sup>. En dix ans, la population, principalement composée de Wolofs, a presque doublé. L'arachide, principale culture de rente, et le mil constituent la base du système de production local qui tente d'intégrer agriculture et élevage [21] (Faye *et al.*, 1985). Sous la pression foncière, les agriculteurs mettent en culture des zones de plus en plus marginales et pratiquent une culture continue [19].

La dégradation s'exprime dans toutes les unités de paysage par une érosion hydrique importante, plutôt sous forme de ruissellement généralisé diffus dans les parties hautes des toposéquences, sous forme de ravinements aux ruptures de pentes et de dépôts de sables localisés dans les bas-fonds. Elle entretient la chute du statut organique du sol et interdit toute amélioration de la productivité végétale naturelle ou cultivée.

La réhabilitation du paysage passe obligatoirement par une stabilisation des phénomènes érosifs et une diminution du ruissellement le long des versants, préalables à toute innovation en matière d'intensification agricole.

### **Dispositifs expérimentaux et méthodes utilisées**

En vue de réhabiliter le milieu et d'améliorer les termes du bilan hydrique des cultures ou des zones de végétation naturelle, des techniques simples de gestion de l'eau ont été mises en œuvre. Elles répondent à trois objectifs :

- cloisonner l'espace agricole en vue de traiter le ruissellement diffus (haies-vives, cordons de pierres) et les écoulements concentrés (seuils filtrants) ;
- améliorer l'infiltration par l'adoption de techniques culturales adaptées, en zone cultivée, et par la mise en défens d'espaces de parcours ;
- assurer le développement d'un couvert végétal homogène et protecteur grâce à des apports de matière organique produite en bordure des champs.

Ces techniques ont fait l'objet d'expérimentations destinées à préciser leur mode de fonctionnement et leur efficacité. Trois niveaux d'observation ont été retenus : le suivi localisé, la parcelle agricole et le bassin versant.

- Le suivi localisé des obstacles linéaires a été réalisé par évaluation du bilan hydrique, des atterrissements et de la production végétale de part et d'autre des ouvrages. Les techniques culturales et la mise en défens ont fait l'objet de tests en parcelles de ruissellement (50 m<sup>2</sup>), sans répétition.

- A l'échelle de la parcelle agricole (2,5 ha), l'influence de l'aménagement a été étudié globalement compte tenu du caractère complémentaire des techniques utilisées, à la fois dans l'espace et dans le temps. Les critères d'efficacité étaient constitués par les paramètres hydrologiques mesurés à l'aval de la parcelle ainsi que l'étude géostatistique annuelle des stocks hydriques du sol et des rendements agricoles avant et après aménagement. Cette méthode suppose, en l'absence de parcelle témoin, que les séries climatiques lors des deux périodes soient analogues.

- A l'échelle du bassin versant (100 ha) qui regroupe les principales unités de paysage de la toposéquence, les critères d'efficacité ont été limités aux paramètres hydrologiques mesurés à l'exutoire. Pour ce faire, on a utilisé la méthode des bassins versants appariés : deux bassins ont été suivis en conditions naturelles pendant une période initiale puis l'un des deux a été aménagé en cours d'étude. Cette méthode repose sur l'hypothèse implicite de constance d'autres facteurs évolutifs sur le domaine d'étude.

## Résultats expérimentaux et interprétation

### Le suivi localisé

#### La mise en défens

La mise en défens d'espaces pastoraux assure le développement d'un couvert végétal protecteur vis-à-vis du ruissellement. Plusieurs expériences ont montré son efficacité en milieu aride ou semi-aride [22, 23]. En bordure du plateau cuirassé, l'impact de cette technique a été testé à partir de parcelles de ruissellement de 50 m<sup>2</sup>. Une parcelle a été installée dans une zone de 1 ha mise en défens depuis 1987, la seconde dans une zone témoin, pâturée. De 1991 à 1993, les paramètres hydrologiques ont été enregistrés pluie par pluie et mis en rapport avec le développement végétal observé. Le Tableau I compare les données de ruissellement et d'érosion. La mise en défens réduit le ruissellement par un facteur 3 et l'érosion par un facteur pouvant aller jusqu'à 11, comme en 1993, année qui a connu des événements pluvieux exceptionnels [24].

**Tableau I.** Comparaison du ruissellement et de l'érosion sur parcelle mise en défens et témoin.

Date	Pluie 1m mm	Pluie sol mm	Rusa	Défens Lr mm	Témoin Lr mm	Défens MES mg/l	Témoin MES mg/l	Défens Érosion kg/ha	Témoin Érosion kg/ha
1991	460,2	486,5	218	52,5	159,5	318,8	408,9	119,8	463,9
1992*	587,9	641,3	185	46,2	149,8	563,6	1 003,8	163,3	685,0
1993	728,4	796,4	478	67,4	220,3	728,0	1 801,6	370,6	4 087,4

\* : Valeurs partielles

RUSA : indice d'agressivité des pluies annuelles = somme des RUSA calculés par averse,

MES : Concentration moyenne annuelle des matières en suspension.

Les conséquences sur la végétation se manifestent à la fois sur la strate herbacée et la strate ligneuse. Sur la strate herbacée, la mise en défens a permis d'accroître de près de 20 % la richesse floristique. Sur le plan de la diversité, la proportion des légumineuses dans le spectre floristique a augmenté de 10 % aux dépens des poacées (- 8 %). La régénération et le développement de végétaux pérennes dans la strate herbacée ont apparemment été freinés par des conditions climatiques défavorables, la profondeur du sol limitée par la cuirasse et certainement par la faiblesse de la vitesse de cicatrisation.

L'amélioration des conditions écologiques par la protection de la végétation se traduit sur la strate ligneuse par un accroissement de 60 % de la richesse floristique. L'enrichissement de la flore ligneuse est due à l'apparition d'espèces rares sensibles à la dégradation du système. Ce sont des espèces lianescentes (*Dioscorea prehensilis* Benth., *Strophanthus sarmantosus* DC, *Baissea multiflora* DC) et arborées (*Pterocarpus erinaceus* Poir., *Lannea acida* A. Rich., *Cordyla pinnata*).

La densité de la strate ligneuse a été multipliée par un facteur 3 et la surface terrière a été augmentée d'un facteur 6. Contrairement à *Guiera senegalensis* qui trouve son optimum écologique dans la zone fortement anthropisée, *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Acacia macrostachya* et *Feretia apodanthera* ont été particulièrement favorisées dans la station protégée.

Les observations relatives à la production de la strate herbacée, évaluée par la méthode de la récolte intégrale au moment du maximum de végétation [25], montrent que la phytomasse est 2,8 fois plus importante dans la station protégée que dans le témoin. Quant à la phytomasse de bois, évaluée à l'aide de relations allométriques liant des paramètres structuraux à la masse de végétation, elle est 7 fois plus élevée dans la parcelle protégée.

### Les techniques culturales

Afin d'améliorer l'infiltration dans les sols ferrugineux sableux cultivés, il est nécessaire de maintenir temporairement une rugosité superficielle suffisante et de favoriser le développement d'un couvert végétal protecteur [26]. Pour ce faire, plusieurs itinéraires techniques ont été testés à partir de 1990, en milieux contrôlés et paysans, afin d'étudier leur efficacité et leur transfert chez les exploitants [27]. Le Tableau II présente les résultats obtenus en parcelles de ruissellement (50 m<sup>2</sup>) pour trois itinéraires techniques appliqués à la culture de mil. L'itinéraire témoin, largement pratiqué par les paysans, consiste en un semis direct suivi de deux sarclages mécanisés et d'un démarrage manuel. Les itinéraires améliorés comprennent une préparation du sol en condition sèche (décompactage) et une reprise de travail par pseudo-buttagage au moment du tallage. Les deux traitements diffèrent par les doses de fumure organique : 5 ou 10 t/ha de compost. On observe que le gain d'infiltration valorise pleinement l'apport de matière organique et se traduit par une augmentation de rendement. Des études analogues conduisant à des conclusions moins favorables concernent l'arachide.

**Tableau II.** Résultats agronomiques obtenus en 1991 et 1993 sur parcelles de ruissellement cultivées en mil (Variété Souna III) [27].

Année	Traitement	Lame précipitée mm	Lame ruisselée mm	Evapotrans. réelle mm	P. plante entière kg/ha	Nb épis fertiles nb/50m <sup>2</sup>	P. de grains kg/ha
1991	Témoin	558,5	112,9	298	3090	184	890
	préparation sol + compost 5t/ha	558,5	86,5	313	3760	220	1030
	préparation sol + compost 10t/ha	558,5	91,1	323	4430	238	1310
1993	Témoin	795,8	261,6	376	3440	150	910
	préparation sol + compost 5t/ha	795,8	188,3	408	4930	209	1340
	préparation sol + compost 10t/ha	795,8	166	419	5710	239	1500

### Influence d'une haie vive sur l'infiltration

En 1991 puis en 1992, des prélèvements à la tarière ont été réalisés le long de trois transects perpendiculaires à une haie vive isohypse mise en place en 1988. Les sites de prélèvements sont symétriques par rapport à l'axe de la haie et sont distants de 5 m, 2 m, 1 m et 0,5 m du point central (Figure 2). Les échantillonnages sont réalisés tous les 15 jours. L'analyse porte sur les valeurs moyennes de l'humidité à une profondeur donnée, les transects étant considérés comme des répétitions.

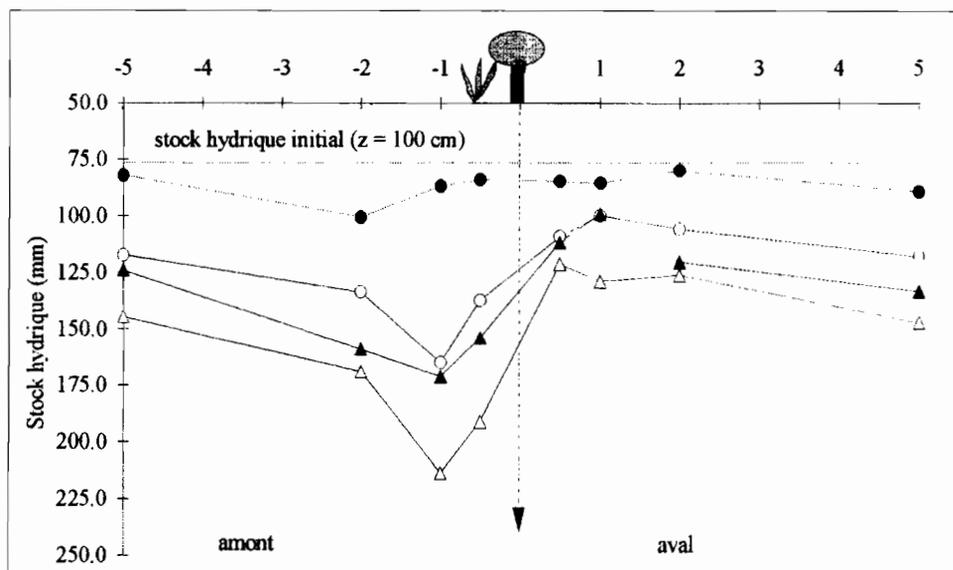
Le bilan hydrique est établi en divisant l'espace en deux unités :

- la première, qui se rapporte aux cultures de part et d'autre de la haie, est caractérisée par la moyenne des variations de stocks hydriques mesurés aux abscisses -5m et +5 m ; pour ce faire, la moyenne des lames ruisselées observées sur deux parcelles de 1 m<sup>2</sup> est soustraite à la pluie journalière ;

- la seconde se rapporte à la haie elle-même et est caractérisée par la moyenne des variations de stocks hydriques mesurées aux abscisses  $\pm 0,5$  m et  $\pm 1$  m ; l'évapotranspiration de la haie vive a été déterminée sur des périodes exemptes de ruissellement et comparée à celles des cultures définies sur les parcelles de 1m<sup>2</sup>. Cette comparaison donne un ratio de 1,3 en faveur de la haie qui a été appliqué dans toutes les situations.

Le drainage profond a été négligé, il ne se manifeste que tardivement et de manière peu intense.

Le gain d'infiltration dans l'espace occupé par la haie vive, avoisine 118 mm en 1991 et 84 mm en 1992. Dans le premier cas, les variations annuelles des stocks hydriques, mesurés entre le début et la fin de la saison des pluies, sont conformes à cette augmentation de l'offre en eau. L'année suivante, en revanche, la simple étude des variations de



**Figure 2.** Évolution des stocks hydriques (0-100 cm) le long d'un transect perpendiculaire à la haie [28]. (○) : stocks le 26.07.91, (Δ) : stocks le 27.08.91 ; (▲) : stocks le 01.10.91, (●) : stocks le 21.11.91.

stocks ne permet pas de mettre en évidence le rôle de filtre joué par la haie vive. Le gain d'infiltration est en grande partie utilisé pour les besoins des espèces arbustives et herbacées [28].

De plus, plusieurs repères installés au sol en 1989 permettent d'évaluer la sédimentation annuelle en amont de la haie. Celle-ci avoisine 1,8 cm /an, un an après aménagement puis se stabilise autour de 0,5 cm/an les années suivantes.

### La parcelle agricole

A l'échelle de la parcelle agricole, un micro-bassin versant de ,5 ha associe, depuis 1988, des techniques de stabilisation (haies vives, obstacles filtrants) et des pratiques agricoles améliorées (Figure 3). La comparaison des bilans hydrologiques annuels avant (1985-1987) et après aménagement (1989-1992) met en évidence une diminution significative du coefficient de ruissellement et une quasi disparition des pertes en matières solides (Tableau III).

L'examen individuel des pluies montre un effet régulateur de l'aménagement pour les précipitations faibles à moyennes, mais un impact limité sur les événements exceptionnels, hormis pour les matières solides qui sont piégées en amont des obstacles filtrants où la sédimentation avoisine 1 à 2 cm/an [28]. L'étude géostatistique a mis en évidence une

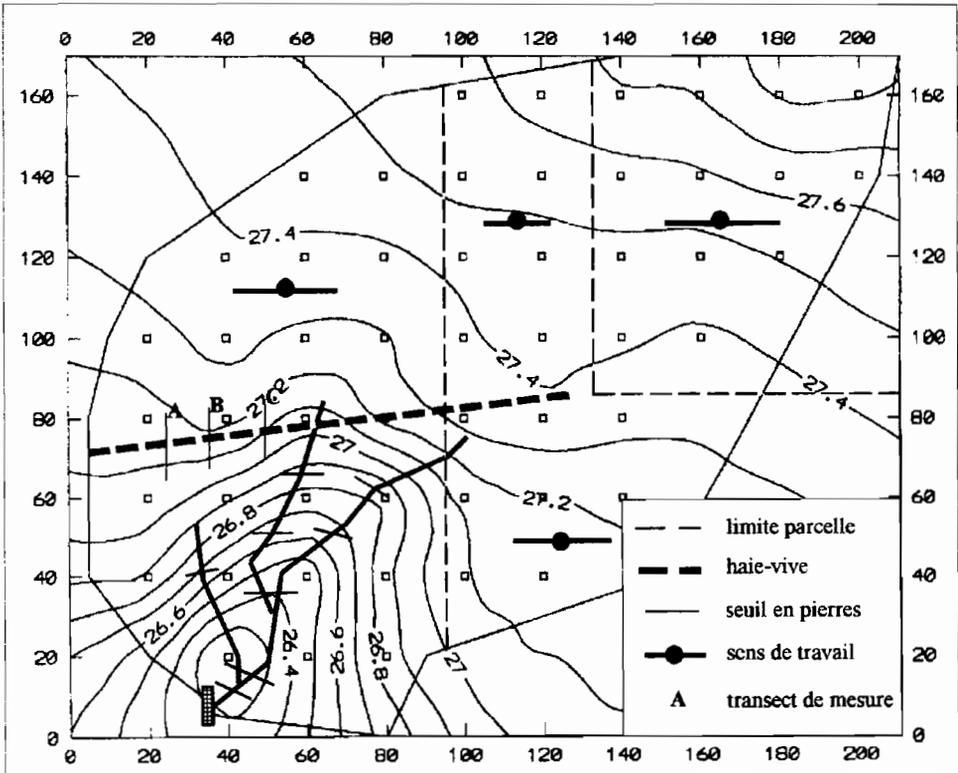


Figure 3. Aménagement du micro-bassin versant de Ndiba [28].

forte accumulation d'eau dans la zone des obstacles filtrants, en aval du bassin versant. Entre 1989 et 1991, un suivi du bilan hydrique par méthode tensiométrique a permis d'établir ponctuellement que les excédents d'infiltration dans le talweg, en début d'hivernage, variaient de 160 à 240 mm [19].

D'un point de vue agronomique, l'aménagement intégré a permis de récupérer la zone aval du bassin versant qui subissait un décapage intense accompagné du développement de solides croûtes de ruissellement. A l'heure actuelle, la mise en culture s'effectue sur l'ensemble de la superficie et on assiste à une homogénéisation des rendements agricoles aussi bien en mil qu'en arachide (Tableau IV).

**Tableau III.** Bilans hydrologiques et pertes en terres du bassin versant de Ndiba.

Période	Nb pluies	Nb crues	Lp (mm)	R	Lr (mm)	Kr (%)	Nb crues prélevées	Matière solide transportée (kg)	Érosion spécifique (t/ha/an)	Evènement exceptionnel (kg)
Noire (1985-1987)	129	40	2057,7	900,7	87,1	4,2	25	13955	1,9	4924
Grise (1988)	50	18	931,5	449,5	40,1	4,3	0	-	-	-
Blanche (1989-1992)	154	36	2339,7	1091,9	60,2	2,6	28	2967	0,3	912

Lp = lame précipitée

R = indice d'agressivité des pluies

Période noire = avant aménagement,

blanche = après l'aménagement.

Lr = lame ruisselée

Kr = coefficient de ruissellement

grise = pendant l'aménagement,

**Tableau IV.** Évolution des rendements en grain d'une culture de mil (Souna III) après aménagement du bassin versant de Ndiba [28].

Année	Secteur	Rendement grain (kg/ha)		
		moyenne	r	cv (%)
1988	amont	1143	397	34,7
	aval	897	388	43,3
1990	amont	915	239	26,1
	aval	635	250	39,4
1992	amont	816	252	30,1
	aval	1177	419	35,6

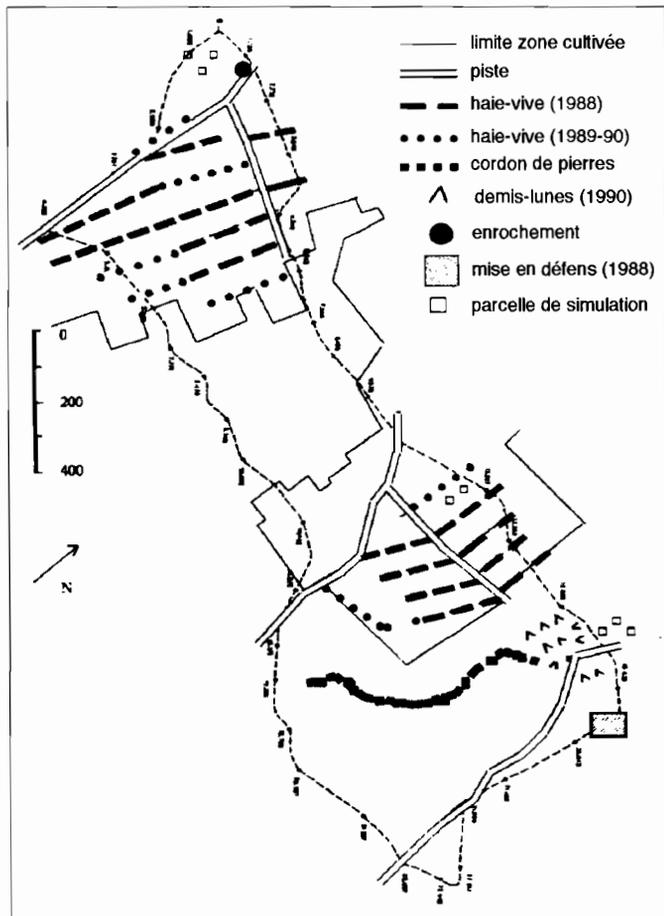
## Aménagement du versant

L'échelle du versant aménagé est atteinte avec le bassin de la ravine de Keur Dianko (0,6 km<sup>2</sup>) qui intègre une toposéquence complète de sols ferrugineux lessivés.

Cet aménagement, commencé en 1988, comprend en 1991 [19] (Figure 4) :

- 4 zones de mise en défens (0,5 ha) en bordure du plateau ;
- 9 000 plants répartis en 13 haies vives, totalisant 4 000 mètres linéaires ;
- 1 cordon de pierres complété par des ouvrages filtrants ponctuels en haut de toposéquence ;
- rectification et stabilisation de ravines par végétalisation et empierrements en zone cultivée ;
- introduction progressive des itinéraires techniques améliorés.

De 1983 à 1987, un suivi du bilan hydrologique complet a été réalisé dans les conditions antérieures à l'aménagement. Un même suivi a été effectué sur la ravine voisine de Ndierguène dont le bassin est un peu plus grand (0,9 km<sup>2</sup>). Ces observations hydrologiques se poursuivent, la ravine de Ndierguène sert de témoin. Les bilans hydrologiques annuels comparés des deux ravines (Tableau V) montrent des coefficients de ruisselle-



ment du même ordre de grandeur sur les deux bassins avant la mise en place des aménagements (1988) et des coefficients de ruissellement nettement plus faibles pour Keur Dianko, surtout à partir de 1991 date à laquelle les aménagements sont achevés. L'aménagement a un rôle d'autant plus fort sur le bilan en eau et en matières solides transportées que l'année comporte des ruissellements importants : en 1991, les transports solides sont équivalents sur les deux bassins (environ 650 kg/ha) ; en 1992, ils sont de 488 kg/ha pour le bassin aménagé et de plus de 1 tonne/ha sur le bassin témoin ; en 1993, où un événement exceptionnel (179 mm en 24 heures) est à l'origine de près de 50 % de l'érosion annuelle, les transports solides sont de 1,5 t/ha sur le bassin aménagé et de 3,5 t/ha sur le bassin témoin.

**Tableau V.** Bilans hydrologiques comparés. Ravine de Keur Dianko (KD) et ravine de Ndierguène (ND).

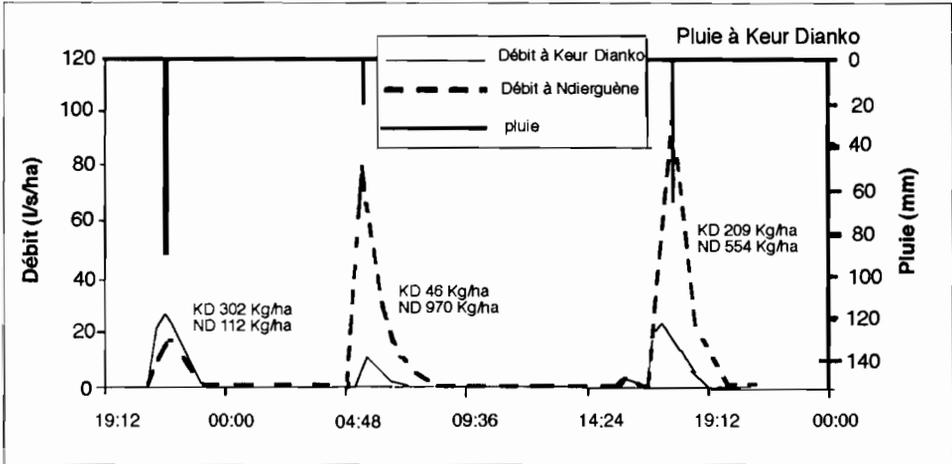
Période	Pluie mm		Lame ruisselée mm		Coefficient de ruissellement %	
	KD	ND	KD	ND	KD	ND
1983-1987	2656,7	2781,4	54,7	72,6	2,1	2,6
1988	894,2	825,2	24,1	22,7	2,7	2,8
1989-1993	3040,4	2933,0	87,9	277,8	2,9	9,5

L'impact de l'aménagement est bien mis en évidence par l'événement du 4-5 août 1993. Sur la Figure 5 on a représenté les débits ramenés à 1 ha pour les deux ravines. Les crues résultantes de la première averse sont équivalentes sur les deux bassins avec un coefficient de ruissellement de 9 % pour le bassin aménagé et de 11 % pour le témoin. Les crues provoquées par les deux averses suivantes (conditions d'infiltration très faibles) sont beaucoup plus fortes et plus pointues sur le bassin témoin. Les coefficients de ruissellement sont respectivement de 10 % et 14 % sur le bassin aménagé et 50 % et 42 % sur le témoin. Cette différence dans le ruissellement se traduit par un écart proportionnel des matières transportées. L'objectif de réduction de l'énergie cinétique de la lame ruisselée est donc atteint. L'examen individuel des pluies démontre un effet régulateur de l'aménagement pour les événements moyens et forts.

## Conclusion

En vue de stabiliser les phénomènes d'érosion hydrique à travers une maîtrise du ruissellement, divers aménagements ont été appliqués aux éléments d'un paysage dégradé du bassin arachidier au Sénégal, en tenant compte de leurs spécificités écologiques et de leur utilisation par les populations.

Ces aménagements relèvent, d'une part, de la restauration (allègement de la pression ou suppression de la perturbation) et, d'autre part, de la réhabilitation (amélioration du bilan



**Figure 5.** Débits rapportés à 1 ha pour l'événement du 4 et 5 août 1993. Comparaison ravine de Keur Dianko et de Ndierguène.

hydrique, réintroduction d'espèces végétales...). Dans le premier cas, une mise en défens du plateau résiduel a été réalisée afin de favoriser la régénération et le développement de la végétation, pour rétablir ses fonctions de protection du sol et de conservation de l'eau. Dans le second cas, la construction de cordons pierreux et l'introduction de haies vives d'espèces largement autochtones ont été retenues pour ralentir le ruissellement et provoquer la sédimentation des particules fines. Enfin, des techniques culturales adaptées ont été testées afin de favoriser l'infiltration et d'améliorer les rendements agricoles dans les terres cultivées qui constituent l'essentiel du paysage actuel.

L'évaluation de ces aménagements, à différentes échelles, a montré qu'il était possible d'agir sur les niveaux de certains attributs structuraux (richesse floristique, phytomasse naturelle et cultivée) et fonctionnels (réduction du ruissellement et des pertes en terre, stabilisation des versants, gestion des résidus), non seulement au niveau de l'aménagement lui-même, mais encore à l'échelle du bassin versant qui intègre l'ensemble des opérations et qui reflète l'utilisation de l'espace par les villageois. Une meilleure gestion des ressources naturelles est donc possible à partir d'un cloisonnement raisonné du paysage visant à réguler les processus qui caractérisent cet hydrosystème. Cependant, cette démarche doit tenir compte, à chacune de ses étapes, de la capacité d'adoption de l'innovation par les exploitants et de sa capacité d'intégration dans les stratégies paysannes. Enfin, certains facteurs doivent être considérés à des échelles qui dépassent le bassin versant, voire le terroir villageois ; c'est le cas de l'élevage dont l'influence sur la phytomasse et la fertilité des sols est essentielle mais dont la gestion relève de territoires beaucoup plus vastes.

## Références

1. Pieri C. (1989). *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. C.F. - CIRAD (443 p).
2. Richard J.F. (1990). *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris (130 p).
3. Poulsen E., Lawesson J.E. (1991). *Dryland degradation. Causes and consequences*. Danish Sahel Workshop. Aarhus University Press, Aarhus (134 p).
4. Pontié G., Gaud M. (1992). *L'environnement en Afrique. Afrique contemporaine*, n° 161, La Documentation Française, Paris (294 p).
5. Le Borgne J. (1990). La dégradation actuelle du climat en Afrique, entre Sahara et Equateur. In : Richard J.F., éd. *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris :17-36.
6. Sircoulon J. (1992). Évolution des climats et des ressources en eau. In : Pontié G., Gaud M., éd. *L'environnement en Afrique. Afrique contemporaine*, n° 161, La Documentation Française, Paris : 55-76.
7. Le Houérou H.N. (1994). Climate change drought and desertification, Intergovernmental Panel on Climate Change. WHO (38 p).
8. Grouzis M., Albergel J. (1989). Du risque climatique à la contrainte écologique. Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In : Eldin M., Milleville P., éd. *Le risque en agriculture*. ORSTOM, Paris : 243-254.
9. Lericollais A. (1990). La gestion du paysage ? Sahélisation, surexploitation et délaisement des terroirs sereer au Sénégal. In : Richard J.F. ed. *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris :152-169.
10. Floret C., Pontanier R., Serpenté G. (1993). *La jachère en Afrique tropicale*. Dossier MAB 16. UNESCO, Paris (86 p).
11. Rochette R.M. (1989). *Le Sahel en lutte contre la désertification. Leçons d'expérience*. CILSS PAC. GTZ (592 p).
12. Sall P.N., Aussenac G., Dreyer E., Garnier A. (1991). Limitation par la sécheresse de la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn. en climat sahélo-soudanien au Sénégal. *Rev For Fr* ; XLIII : 309-316.
13. Tybirk K.(1991). Planting trees in Sahel-doomed to failure ? In : Poulsen E., Lawesson J.E., eds. *Dryland degradation. Causes and consequences*. Danish Sahel Workshop, Aarhus University Press, Aarhus : 22-28.
14. Dacosta H. (1992). Économie de l'eau et DRS sur les bassins versants de Thyssé Kaymor. Synthèse hydrologique 1983-1988. ORSTOM Dakar (67 p).
15. Michel P. (1973). Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude Géomorphologique (Tome 1). Coll. Mémoires ORSTOM n° 63, Paris (365 p).
16. Bertrand R. (1972). Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Siné-Saloum (Sénégal). *Agron Trop* ; vol XVII (n°11) : 1115-1190.
17. Angé A. (1991). Gestion de la fertilité des sols et stratégies de mise en valeur des ressources naturelles. Exemple du mil dans les systèmes de culture du sud du bassin arachidier sénégalais. In : *Terres de savane, terres fertiles ?* CIRAD-CA Publ : 155-164.
18. Raison J-P.(1988). Les parcs en Afrique : État des connaissances et perspectives de recherche. Encyclopédie des Techniques agricoles en Afrique tropicale, Doc. de travail (117 p).
19. Sène M., Perez P. (1994). Contraintes et possibilités de valorisation des ressources naturelles dans le sud du bassin arachidier (Siné Saloum, Sénégal). In : *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*. John Libbey Eurotext, Paris : 217-233.
20. Albergel J., Perez P. (1993). Fonctionnement hydrologique et aménagement des bas-fonds des formations sédimentaires du continental terminal : exemple du bassin arachidier du Sénégal. In : Raunet, éd. *Bas-fonds et riziculture*. CIRAD CA Publ. : 155-164.

21. Faye A., Niang L., Sarr D.Y., Thiam A. (1985). Étude monographique de la communauté rurale de Thyssé Kaymor. ISRA. Dakar (100 p).
22. Grouzis M. (1988). Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Col. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris (336 p).
23. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. A view from the South. *Restoration Ecology* ; 1 : 8-17.
24. Diatta M. (1994). Régénération des zones marginales et rôle de l'arbre dans les programmes de DRS, application aux bassins versants de Thyssé Kaymor; Thèse à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (183 p).
25. Levang P., Grouzis M. (1980). Méthode d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Acta Oecologica, Oecol Plant* ; 1, 15, n° 3 : 231-244.
26. Hoogmoed W.B., Klaij M.C., Brouwer J. (1991). Infiltration, runoff and drainage in the Soudano-sahelian zone. In : Sivakumar M.V.K., Wallace J.S., Renard C., eds. *Soil water balance in the Soudano-sahelian zone* (Proceedings of the Niamey Workshop, Feb.1991). IASH Publ. n° 199 : 85-98.
27. Boscher C. (1994). Amélioration des techniques culturales pour une meilleure gestion de l'eau sur une rotation mil-arachide (Sud-Saloum, Sénégal). Mémoire DIAT, ESAT/CNEARC, Montpellier (68 p).
28. Perez P. (1994). Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud Saloum (Sénégal). Thèse de Doctorat, ENSAM Montpellier (250 p).