

## **Gestion de l'Eau et des Sols sur Toposéquences Cuirassées en Afrique Occidentale : Limites des Méthodes Traditionnelles et Perspectives**

**Drissa DIALLO<sup>1</sup>, Eric ROOSE<sup>2</sup>**

*IPR/IFRA de Katibougou, Laboratoire d'Agropédologie BP 6, Koulikoro, Mali*

*Courriel : [drdiallo@ird.fr](mailto:drdiallo@ird.fr)*

*UR SeqBio, Centre IRD, BP 64 501 F 34394, Montpellier, France.*

*Courriel : [roose@mpl.ird.fr](mailto:roose@mpl.ird.fr)*

### **Abstract**

Large iron pan impluviums are observed under the sudano-sahelian climates with monomodal rainfalls in Western Africa (Rains: 500 to 1 200 mm; 5 to 8 dry months). The landscapes show iron pan plateaus (320 to 400 meters high), with marginal soils (thick, gravely, very low permeability and fertility), glacis and valleys with deep and silty ferruginous or hydromorphic soils. Runoff varies from 40 % (on iron pan) to 35 % (on glacis). Sometimes runoff attains more than 70% of big rainstorms. To manage this large amount of runoff, the farmers traditionally used various tillage systems and specific SWC techniques (stone lines, stone bunds, earth bunds, zaï practices with living hedge rows). In spite of current techniques efficient, gully development control remains a major problem. So, it is necessary to develop appropriate alternatives for water harvesting, storage and redistribution on the landscape.

### **1. Introduction**

En Afrique occidentale, les stratégies de gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES) sur toposéquence avec impluvium cuirassé reposent sur l'utilisation de techniques traditionnelles, ayant été souvent sujets de recherche pour amélioration (Roose, 1994). Ces techniques doivent être réexaminées actuellement en vue d'apprécier leur efficacité et leur diffusion dans cet environnement en évolution rapide du climat et du contexte démographique et socio-économique.

### **2. Matériel et méthode**

#### **2.1 Milieu d'étude**

##### **2.1.1 Contexte climatique**

La présence de grands impluviums cuirassés est fréquemment observée sous les climats à régime pluviométrique monomodal et très contrasté d'Afrique occidentale. Ces climats, ont fait l'objet de nombreuses propositions de subdivision (dont les premières remontent aux années 1930), à partir de deux critères, le plus souvent : pluviométrie moyenne annuelle et type de végétation (Sivakumar, 1989). La présente étude porte sur un espace limité par les isohyètes 500 au nord et 1200 au sud que nous avons désigné par zone soudano-sahélienne par soucis de simplification. Elle inclue une partie du Sahélo-soudanien (400- 600 mm) et le Soudanien (600-1200 mm) de Le Houerou. Il faut noter que les déplacements d'isohyètes sont fréquents dans la zone soudano-sahélienne où la dégradation actuelle de la situation pluviométrique est particulièrement ressentie (Hubert et Carbonnel, 1993).

##### **2.1.2 Caractéristiques morphopédologiques**

La toposéquence avec impluvium cuirassé présente des variantes à l'intérieur de la zone soudano-sahélienne en fonction des secteurs géologiques (grès, granite schiste, etc.). En général,

trois segments sont observés sur la toposéquence et correspondent respectivement aux modelés cuirassés, au long glacis et au bas-fond. Dans le détail, chacun de ces segments présente des subdivisions bien que souvent négligeables. La figure 1 montrant le schéma d'aménagement d'un terroir granitique du Plateau Mossi, actuellement Plateau Central (Roose, 1994), est un exemple de toposéquence avec impluvium cuirassé.

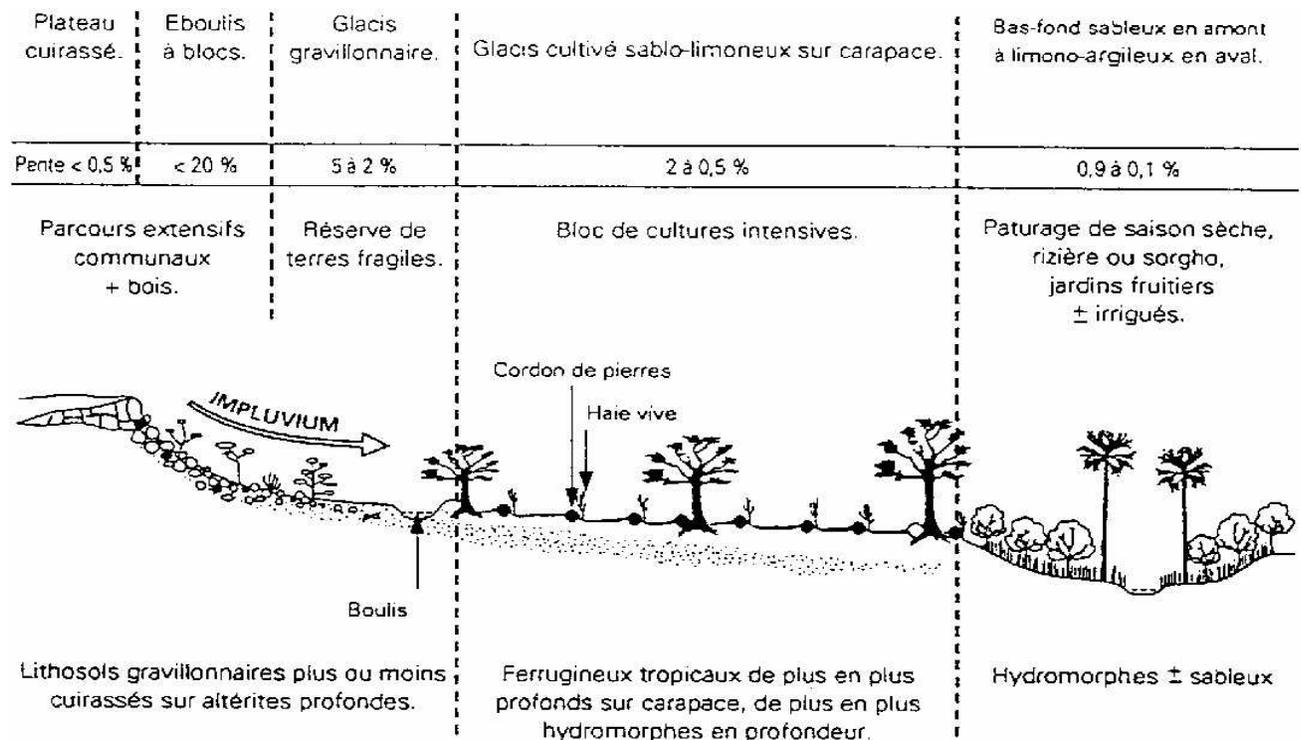


Figure 1 : Schéma d'aménagement d'un terroir granitique du Plateau Mossi : agriculture sous impluvium (Roose, 1994).

Observation : ce schéma indique la distribution des couvertures pédologiques sur la toposéquence

### a) Les modelés cuirassés (impluvium)

Les paléoclimats et l'évolution morphologique au quaternaire ancien ont laissé des reliefs cuirassés dans l'ensemble de la zone soudano-sahélienne où ils peuvent représenter environ 40 % des petits bassins versants de la taille de 100 km<sup>2</sup>. Ces modelés occupent le sommet de la toposéquence (Figure 1). Deux principales formes distinctes sont observées : le plateau et le glacis gravillonnaire. Le plateau est observé à une altitude variable, suivant les secteurs géologiques, en moyenne 400m. Les glacis gravillonnaires ont une altitude moyenne de 320 m et une pente de 2 à 8%. La microtopographie des milieux cuirassés, apparemment simple, est complexe dans le détail :

- sur le plateau, il existe des points d'affleurement de cuirasse en dalle, légèrement surélevés et des zones légèrement déprimées. La présence de nombreuses termitières à chapeau (Cubitermes) accentue l'irrégularité de la microtopographie;

- sur glacis gravillonnaire, on note des affleurements de blocs de cuirasse. Le passage de ce sous segment au long glacis est graduel.

En ce qui concerne la distribution des sols sur la toposéquence, le plateau est occupé par des lithosols d'épaisseur variable (15 à 40 cm), graveleux (25 à plus de 60% de gravillons) avec une terre fine contenant 10 à plus de 15 % d'argile. Quant au glacis gravillonnaire, il est occupé par des sols de 40 à 60 cm d'épaisseur, contenant souvent plus de 60 % de gravillons avec 12 à plus de 20 % d'argile dans la terre fine.

Ces caractéristiques morphopédologiques des milieux cuirassés expliquent leur influence prononcée sur les processus morphodynamiques actuels caractérisant les écosystèmes soudano-sahéliens (ruissellement, érosion, etc.). En effet, la faible épaisseur des matériaux pédologiques et les pentes relativement fortes sont défavorables à l'infiltration des eaux pluviales et responsables de forts coefficients de ruissellement dont les effets sont visibles sur la toposéquence (décapage des sols, ravinement). On comprend pourquoi les études pédologiques pour le développement agricole ont toujours insisté sur le caractère marginal de ces sols (PIRT, 1983 ; Kaloga, 1978 ; Brouwers et al, 1976).

### **b) Le long glacis**

Situé au contrebas du glacis gravillonnaire, le long glacis est caractérisé par une pente rectiligne de valeur variable (2 à 0,5%). Ce modelé est occupé par un manteau d'altération riche en kaolinite sur lequel l'évolution des sols est net : sols ferrugineux tropicaux lessivés. La partie supérieure du profil est toujours bien drainant contrairement aux horizons de profondeur supérieure à 50cm où le drainage médiocre favorise la formation d'horizons à pseudogley ou taches et concrétions ferrugineuses. La granulométrie de ces sols est très variable à l'échelle régionale, en fonction du substratum géologique. L'horizon de surface présente un taux d'élément fin (argile + limon) variable de moins de 10 % à plus de 25 %. Les horizons profonds sont généralement de texture assez fine. Le long glacis fait l'objet d'une forte pression agricole et l'essentiel des surfaces cultivées y sont localisées.

### **c) Le bas-fond**

Ce modelé, en contact avec le cours d'eau à l'aval, est nettement influencé par le régime hydrologique de ce dernier. Ainsi, au cours de la saison des pluies, le débordement de la rivière peut favoriser l'inondation du bas-fond. Cette inondation garde un caractère aléatoire à l'image des pluies. Sa durée et sa profondeur sont variables à l'intérieur de la zone soudano-sahélienne, en fonction des quantités annuelles de pluie, de la physiographie et de l'organisation du système naturel de drainage. Les sols sont épais avec une granulométrie assez grossière sur la bordure du bas-fonds, puis très fine par la suite. C'est le domaine de la riziculture (ou du sorgho si l'inondation devient très précaire). Les bas-fonds conservant une humidité non négligeable en saison sèche, servent de pâturages aux troupeaux bovins.

## **2.2 Méthode**

### **2.2.1 Evaluation du potentiel de ruissellement**

Le potentiel de ruissellement est calculé comme suit (Diallo et al, 2004a) :

$$P_{RUI} = 10 Pa \times KRAM$$

$P_{RUI}$  : potentiel de ruissellement (en  $m^3 ha^{-1} an^{-1}$ )

$Pa$  : quantité annuelle de pluie (en mm)

$KRAM$  : coefficient de ruissellement annuel moyen (en % de la pluie annuelle)

Pour la gamme pluviométrique retenue (500 à 1200 mm),  $P_{RUI}$  est calculé avec les hypothèses simplificatrices suivantes :  $KRAM = 40\%$  pour sol gravillonnaire et  $35\%$  pour les sols cultivés sur le long glacis.

### 2.2.2 Analyse des pratiques et techniques actuelles de GCES

Cette analyse s'appuie sur des observations et enquêtes auprès de paysans du sud du Mali et divers travaux (enquêtes, expérimentation au champ, analyses de laboratoire) conduits dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale par les chercheurs, en particulier de l'IRD de Montpellier, l'IER de Bamako, le CIEH de Ouagadougou, le KIT de Amsterdam, la CMDT, l'OXFAM.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Potentiel de ruissellement

Le potentiel de ruissellement ( $P_{RUI}$ ), calculé pour différents isohyètes (500 à 1200 mm), varie de 2 000 à 4 800  $m^3 ha^{-1} an^{-1}$  pour le modelé cuirassé, et 1 750 à 4 200  $m^3 ha^{-1} an^{-1}$  pour le long glacis (Tableau 1). Ces volumes d'eau, relativement importants à l'échelle bassin versant, sont essentiellement destinés au ruissellement en absence de dispositif approprié de GCES. Si un tel dispositif existe, une partie des eaux s'infiltre et le reste traverse la toposéquence en favorisant souvent le ravinement, et dans tous les cas l'entraînement de particules fines (argile + matière organique) vers le réseau hydrographique. Cela représente une perte considérable au niveau des parcelles cultivées. L'érosion sous forme de particules fines (matières en suspension) peut atteindre 3  $t ha^{-1} an^{-1}$  sur long glacis (Diallo, 2000).

Tableau 1 : Volumes d'eau destinés au ruissellement

	Volume d'eau ( $m^3 ha^{-1} an^{-1}$ )	
	Sol gravillonnaire cuirassé ; $KRAM = 40\%$	Sol épais de bas glacis $KRAM = 35\%$
500 mm	2 000	1750
600 mm	2 400	2100
700 mm	2 800	2450
800 mm	3 200	2800
1 000 mm	4 000	3500
1 100 mm	4 400	3850
1 200 mm	4 800	4200
600 mm	2 000	1750

### 3.2. Pratiques culturelles traditionnelles de gestion des eaux pluviales et des sols en milieu cuirassé

**Piochage de la parcelle sur toute sa superficie.** Pratiqué dans les légères dépressions locales du plateau, il favorise l'infiltration dès le début de la saison pluvieuse. Par la suite, une lame d'eau plus ou moins uniforme de quelques centimètres est maintenue sous la culture de riz (généralement des variétés rustiques).

**Confection de planches.** La planche a une superficie variable (4 à 10 m<sup>2</sup>) et une hauteur d'environ 50 cm. Elle corrige la faible épaisseur du sol pour offrir plus de volume aux racines des cultures (maïs, sorgho, arachide, gombo) et leur évite l'excès d'eau.

**Confection de buttes coniques.** La butte (base = 1,5 m ; hauteur = 20 à 30cm) a les mêmes fonctions que la planche et est destinée à l'arachide et à la patate. Roose (1994) a décrit des buttes de 60 à 80 cm de haut en pays Sénoufo (nord de la Côte d'Ivoire) destinées à l'igname et au manioc sur sols gravillonnaires profonds.

Ces méthodes traditionnelles garantissent un minimum de production vivrière sur les plateaux cuirassés même dans des situations de déficit pluviométrique pas trop excessif. Cependant, à l'échelle de la toposéquence, elles ne permettent pas l'utilisation optimum de l'eau qui peut stagner plus ou moins longtemps entre les planches et les buttes pendant que les cultures souffrent de sécheresse sur le long glacis, au contrebas. Il faut noter que l'utilisation agricole du plateau cuirassé est essentiellement observée sur site de pluviométrie annuelle d'au moins 800 mm. Ailleurs, on note une utilisation sylvopastorale exclusive.

### **3.3. Pratiques culturales et techniques améliorées de GCES le long de la toposéquence**

**Le travail minimum du sol.** Juste avant le semis, la parcelle est brûlée (ou herbicidee sur des adventices de 10 à 15 cm de haut), puis travaillée uniquement sur les lignes de semis. L'activité biologique est stimulée et l'infiltration est améliorée.

**L'alignement de pierres.** C'est une seule rangée de pierres plantées dans le sol pour ralentir le ruissellement, piéger des particules (limon et matière organique) transportées par le ruissellement ainsi que des sables éoliens.

**Les cordons pierreux** sont formés de 2 à 3 niveaux de pierres solidaires, de 10 à 50cm de hauteur, disposés en courbe de niveau tous les 10 à 50 mètres. Ils peuvent être consolidés par des herbes ou des haies vives. Ils permettent l'étalement des eaux de ruissellement et la sédimentation (5 à 15 cm de sable, limon et matière organique).

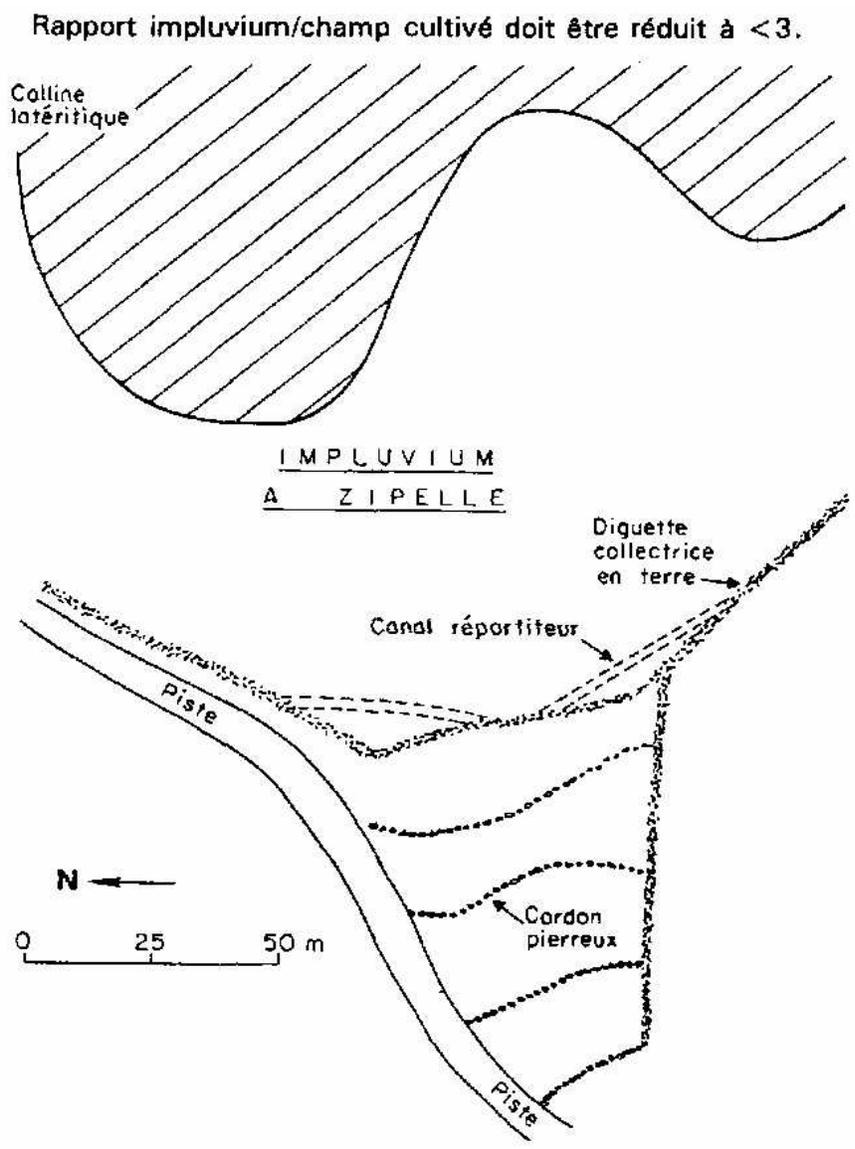


Figure 2: Agriculture sous impluvium ; site expérimental de Bossomboré (Ziga, près de Ouahigouya, Burkina Faso) (d'après Bedu, 1986, cité par Roose, 1994)

**Le zaï.** C'est une cuvette (20 à 40 cm de diamètre et 10 à 15 cm de profondeur) qui capte le ruissellement à partir d'un impluvium de 5 à 20 fois la surface travaillée. Les cuvettes sont creusées tous les 80 à 100 cm. Les trous étant faits pendant la saison sèche, ils piègent des particules apportées par le vent : sable, limon, matières organiques. Dès les premières pluies, une à deux poignées de matière organique (1 à 3 t ha<sup>-1</sup>) apportées à chaque trou, favorisent l'activité des termites (du genre *Trinervitermes*) qui creusent des galeries. Généralement une douzaine de graines de sorgho sont semées en poquet pour leur permettre de soulever la croûte sédimentaire qui s'y forme lors des premières averses (Roose et al., 1993). Ce système a été utilisé avec succès pour réintroduire la jachère arbustive et un système agro-sylvo-pastoral, disparu suite à l'usage intensif de la charrue.

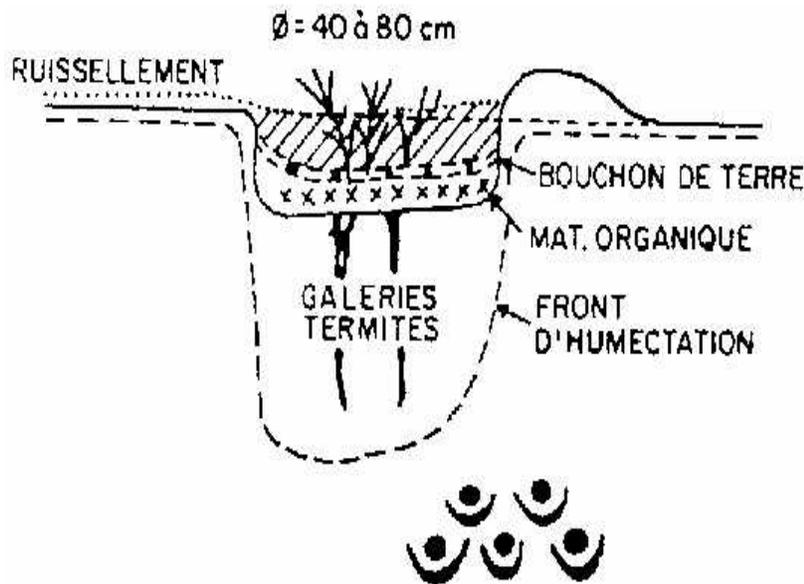


Figure 3 : Cuvette de zaï (d'après Roose, 1994)

**La demi-lune.** C'est une diguette en forme de demi-lune (diamètre de 2 à 6 m) qui permet de concentrer le ruissellement et sa charge en suspension sur des arbustes ou des cultures en poquets. L'extrémité de la diguette peut être protégée par des cailloux.

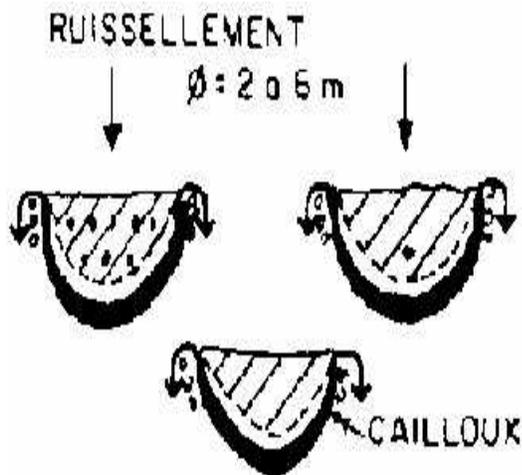


Figure 4 : Schéma de demi-lunes (d'après Roose, 1994)

**Les haies vives.** Elles sont constituées de 2 ou 3 lignes d'herbes (*Andropogon* ou *Pennisetum*) ou d'arbustes plantés en quinconce.

L'efficacité des dispositifs de GCES décrits a été mise en évidence dans différentes situations. Le cordon pierreux a un effet positif sur les débits de pointe, l'étalement des écoulements et les risques d'érosion (Roose, 1994). Son influence sur le ruissellement global reste mitigé. Cependant, contrairement aux zones de forte pluviosité, il n'est pas exclu que cette influence soit significative dans les situations les plus arides de la zone soudano sahélienne (faible total annuel de pluie, nombre de pluies limité, humidité du sol fréquemment bas) : le dispositif semble diviser le ruissellement moyen par 4 et l'érosion par 25 au Niger (Delwaulle, cité par Heusch, 1991). A Kaniko (sud du Mali), le cordon pierreux et la demi-lune ont permis la recolonisation totale du sol nu par une végétation herbacée (tableau 2), et cela au bout de deux ans (Van der Pool et Kaya, 1991, cités par DRSPR, 1992). Le zaï + fumure améliore le rendement du sorgho au Burkina : 900 kg ha<sup>-1</sup> contre 300 kg ha<sup>-1</sup> pour le témoin (Roose et al, 1993). Les enquêtes montrent que les techniques traditionnelles améliorées sont largement acceptées par les paysans soudano-sahéliens (le tableau 3 en donne un exemple), même si des difficultés de mise en œuvre existent souvent surtout dans les cas où un travail collectif bien organisé est nécessaire. Les haies vives semblent être utilisées dans de nombreux cas, dans tous les pays (Burkina Faso, Mali, Sénégal, Niger) comme un moyen de gestion foncière en même que de GCES.

Tableau 2 : Effet du dispositif anti-érosif sur une parcelle dénudée à Kaniko (région de Koutiala, Mali-Sud).

	Recouvrement du sol par la végétation spontanée (%)			Proportion de graminées dans le couvert végétal (%)		
	1987	1988	1989	1987	1988	1989
Cordons pierreux	48	100	98	27	58	74
Lignes de tige de coton	45	100	98	37	56	70

Diguettes demi-lune	2	77	52	0	24	62
Haie vive d'Euphorbia balsamifera	0	8	5	0	59	50

Tableau 3 : Classification préférentielle des différentes technologies de GCES d'après les études de Lalba (2005) dans la zone nord-ouest du Burkina Faso

	Critères de préférence								Totaux		Moyenne	
	Rendement élevé		Fertilité améliorée		Humidité conservée		Durabilité		M	F	M	F
	M	F	M	F	M	F	M	F				
Paillage	3	4	4	4	3	4	1	1	11	13	2,75	3,25
Agroforesterie		2	2	1	1	1	5	5	8	9	2	2,25
Zaï + fumure organique	4	5	5	5	3	5	1	1	13	16	3,25	4
Cordons pierreux	2	3	3	3	4	3	5	4	13	13	3,50	3,25
Diguettes de terre	1	1	1	2	2	2	3	3	7	8	1,75	2
Pondération totale	10	10	15	15	13	15	15	14				
Moyenne	2	3	3	3	2,6	3	3	2,8				

Les techniques traditionnelles de GCES, améliorées par l'arrangement spatial du dispositif sur le terrain (cordons mis en place suivant les courbes de niveau par exemple) et par apport de nutriments (matière organique et complément minéral) s'avèrent efficaces : elles permettent une amélioration des rendements des cultures et de la biodiversité. Cependant elles sont insuffisantes pour un contrôle total du ruissellement, les raisons étant :

- soit une faible épaisseur du sol;
- soit un volume important d'eau (quantité annuelle de pluie supérieure à 800 mm) que même les sols profonds ne peuvent pas stocker (Roose et al., 1993).

### 3.4 Nécessité de développer de nouvelles stratégies de GCES

La collecte des eaux de pluie et de ruissellement et leur redistribution dans le paysage agricole soudano sahélien méritent de faire l'objet de nouvelles analyses. Il est envisageable d'évoluer vers de petits aménagements hydrauliques plus ou moins sophistiqués, l'objectif étant de gérer complètement les eaux disponibles. A priori, on peut penser à deux types d'ouvrage :

**a) L'endiguement de surfaces raisonnables sur plateau cuirassé** avec possibilités de canaliser les excès d'eau au profit des autres segments de la toposéquence. La riziculture et la production fourragère sont proposées à l'intérieur de la digue.

**b) Le creusement de mares artificielles en tête de ravine** (appelées boulis chez les Mossi) ou de petits barrages collinaires en contrebas des reliefs cuirassés, à la limite des sols gravillonnaires et limoneux. Dans ce cas, les eaux collectées sont soigneusement distribuées en aval sur les sols argilo-limoneux plus profonds (Dugué P. et al., 1993).

## 6. Conclusion

En milieux soudano-sahéliens, les sociétés traditionnelles ont souvent caché leurs villages

dans les éboulis en bordure des plateaux cuirassés et développé des techniques culturales originales sur ces sols gravillonnaires. Les rendements étant modestes sur ces sols pauvres très légers, les sols limono-argileux des glacis ont été préférés pour développer une agriculture moderne intensive. Un ruissellement très intense est à l'origine d'un ravinement dangereux. D'où le développement de toute une série d'aménagements :

- parcours et reforestation (zaï ou demi-lune) sur plateau et glacis gravillonnaires ;
- creusement de mares (bouli au Burkina Faso) et petit barrage collinaire pour le bétail et la création de jardins irrigués en aval des sols gravillonnaires ;
- cordons de pierres, haies vives, diguettes isohypes en terre, lignes de paille sur les glacis ;

Les études récentes ont bien montré que pour augmenter sérieusement la productivité des terres dans ces zones semi-arides, il fallait combiner les aménagements de gestion de l'eau et l'amélioration du niveau de fertilisation du sol et de nutrition des cultures (fumier, compost, paillage et complément N+P) (Roose, 1994 ; Zougmore et al., 2004).

## 7. Références

**Brouwers. M, Raunet. M et Keita. B 1976.** Carte morphopédologique du plateau mandingue (cercle de Kita et région de Faladié). 1/20 000, IRAT.

**Diallo D. 2000.** Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p

**Diallo D., Keita D., Sawadogo B., 2004.** Les sols peu épais sur cuirasse : Problématiques et alternatives de mise en valeur en agriculture soudanienne. Revue Malienne de Sciences et de Technologie, 6, 28-37.

**Dugué P., Roose E., Rodriguez L., 1993.** L'aménagement de terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso). Cah. ORSTOM, Pédol., 28, 2 : 385-402.

**Heusch B., 1991.** Techniques traditionnelles de CES dans l'Ader-Doutchi (Niger). Bulletin du Réseau Erosion ,12 : 269-274.

**Hubert P., Carbonnel J.P.,1993.** Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology; vol 95, pp 165- 183

**Lalba A. 2005.** Quelques enjeux socio-économiques de la lutte contre la désertification au Burkina Faso : exemple de la lutte anti-érosive dans la zone Nord-Ouest In Butare I.(2005) : Leçons tirées des expériences de lutte contre la désertification au Sahel. Actes des travaux de l'atelier sous-régional d'échange et de réflexion organisé par le CRDI,(12- 16 juillet 2004, Saly Portudal, Sénégal) p 80-93.

**PIRT 1983.** Les Ressources Terrestres du Mali( Atlas, rapport Technique, Annexes). New York: Kenner Printing Compagny

**Roose E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique de la FAO, Rome, n° 70 : 420 p.

**Roose E., Kaboré V., Guenat C., 1993.** Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées. Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : 159-174.

**Sivakumar.,1989.** Agroclimatic aspects of rainfed Agriculture in the Sudano-Sahelian Zone. Proceedings of an international workshop : Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone (11-16 janvier 1987), ICRISAT Sahelian Center Niamey, Niger , p 17-38

**Zougmore R., Mando A., Ringersma J., Stroosnijder L., 2004.** Effet synergique des techniques de gestion de l'eau et des nutriments sur le ruissellement et l'érosion en zone semi-aride du Burkina Faso. Bull. Réseau Erosion IRD , Montpellier, 23 : 540-553.