

*Diversité des stratégies
traditionnelles et modernes
de conservation de l'eau
et des sols*

Influence du milieu
physique et humain
en région soudano-sahélienne
d'Afrique occidentale

INTRODUCTION

L'érosion est un concept qui recouvre plusieurs processus naturels très variables dans le temps et dans l'espace : l'arrachement de particules solides, leur transport et leur sédimentation. L'érosion normale est généralement lente, de l'ordre de quelques tonnes par kilomètre carré et par an, mais elle connaît des soubresauts catastrophiques, les glissements de terrain par exemple. Pendant des siècles, un versant peut rester stable, puis, à la suite d'une longue série d'averses, glisser en entraînant avec lui des arbres centenaires ou des villages. L'érosion accélérée se développe sous l'effet des activités de l'homme : le surpâturage, l'extension des défriches et des cultures à des zones fragiles, les feux répétés, les techniques culturales mal adaptées, la réduction de la jachère et le déséquilibre du bilan des nutriments et des matières organiques aboutissent plus ou moins rapidement à la dégradation des couvertures végétales et pédologiques. Ce mode déséquilibrant d'exploitation du milieu entraîne le développement du ruissellement et de différentes formes d'érosion (en nappe, en ravine, en masse, etc.) en fonction de causes et de facteurs différents.

Cependant, si l'homme augmente les risques d'érosion par ses techniques maladroites, on peut néanmoins espérer que chaque communauté rurale, par l'adaptation progressive de son système d'exploitation aux conditions écologiques, parvienne, au bout d'un certain temps, à mettre au point des stratégies qui lui permettent de maîtriser son environnement.

Dans cette note, nous passerons rapidement en revue les stratégies traditionnelles et modernes de lutte antiérosive. Devant l'échec actuel de celles-ci, nous proposerons une nouvelle stratégie, la gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols (GCES), fondée sur l'analyse des besoins des paysans, démarche ascendante qui leur permette de résoudre eux-mêmes leurs problèmes d'environnement. Nous analyserons ensuite la fragilité du milieu soudano-sahélien d'Afrique occidentale et la diversité des stratégies de gestion de l'eau développées par différentes ethnies en relation avec diverses situations écologiques. Nous suggérons de fonder sur cette diversité les projets d'intensification de la production dans le cadre d'une gestion conservatrice du milieu.

LES STRATÉGIES EN PRÉSENCE

La culture itinérante a été pratiquée sur tous les continents à une époque où la population était peu dense (20 à 40 hab.km² en fonction de la richesse du sol et du climat). Après défrichage, on cultive sur les cendres et on abandonne la terre dès qu'elle ne rend plus assez pour le travail fourni. Pour que le système reste équilibré, il faut une réserve de terre considérable. Si la pression démographique augmente, le temps de jachère diminue et le sol se dégrade progressivement.

Les stratégies traditionnelles

Face à ces problèmes de dégradation des couvertures végétales et pédologiques, les générations successives ont développé différentes stratégies d'économie de l'eau et de gestion de la fertilité des sols en fonction des conditions écologiques et socio-économiques.

LES BILLONS, LES CULTURES ASSOCIÉES ET L'AGROFORESTERIE

Dans les zones forestières humides et volcaniques du Sud-Ouest du Cameroun, les Bamileke ont réussi à assurer un équilibre raisonnable du milieu malgré une forte population (150 à 300 hab.km²) en combinant les cultures associées, qui couvrent toute l'année de gros billons, à divers systèmes agroforestiers.

LES ALIGNEMENTS DE PIERRES, MURETTES ET FUMURE ORGANIQUE

Comme bien d'autres ethnies, les Dogons du Mali se sont jadis retranchés dans les falaises gréseuses de Bandiagara pour résister à l'influence musulmane. Pour survivre, ils ont dû développer toute une série de méthodes conservatoires :

- petits champs entourés de blocs de grès piégeant le sable en saison sèche et le ruissellement lors des pluies ;
- murettes de pierres et remontées de terre sableuse depuis la plaine pour créer des sols sur les dalles gréseuses qui font office d'impluvium ;
- structures en nid-d'abeilles qui servent d'unité de production pour des oignons irrigués à l'aide de calebasses ;
- paillage et compostage des résidus de culture, des déchets familiaux et des déjections animales.

LES GRADINS EN COURBE DE NIVEAU

Lorsque la population est dense, que la terre est rare et le travail manuel bon marché, on trouve souvent des gradins en courbe de niveau avec des canaux d'irrigation comme sur le pourtour méditerranéen, en Asie et en Amérique latine.

LES BÔCAGÈS : ASSOCIATION ÉTROITE ENTRE LES CULTURES, L'ÉLEVAGE ET L'ARBO-RICULTURE

L'Europe a déjà connu plusieurs crises d'érosion. La plus connue se situe au Moyen Âge, lorsqu'il fallut abandonner la jachère naturelle, sous la pression démographique. Le travail du sol et l'enfouissement du fumier furent introduits pour restaurer plus vite

la fertilité chimique et physique des sols. On a associé l'élevage à la culture et on a cloisonné les paysages par une succession de bosquets, de prairies et de petits champs clôturés par des haies vives. On peut se demander si ce n'est pas vers ce type de solution qu'il faudrait tendre dans la frange soudano-sahélienne. Mais, actuellement, la mécanisation et l'industrialisation de l'agriculture, ainsi que la crise économique imposent une remise en cause de ces aménagements. Une nouvelle crise d'érosion se développe et il faut trouver de nouvelles stratégies de conservation des sols.

Des stratégies modernes d'équipement rural

Plus récemment se sont développées diverses stratégies modernes de lutte antiérosive.

LA RESTAURATION DES TERRAINS DE MONTAGNES (RTM)

La restauration des terrains en montagne s'est développée en France à partir de 1850, puis dans les montagnes d'Europe où, pour protéger les plaines fertiles et les voies de communication, les services forestiers ont racheté les terres dégradées en montagne, reconstitué les couvertures végétale et pédologique et corrigé les torrents par des techniques de génie civil et biologique (LILIN, 1986).

LA CONSERVATION DE L'EAU ET DES SOLS (CES)

La conservation de l'eau et des sols cultivés, a été organisée aux États-Unis d'Amérique depuis 1930. L'extension rapide des cultures industrielles peu couvrantes, comme le coton, l'arachide, le tabac ou le maïs, dans les Grandes Plaines a déclenché une érosion catastrophique par le vent et par l'eau. En 1930, 20 % des terres cultivables étaient dégradées par l'érosion.

Sous l'impulsion de BENNET (1939) s'est constitué un service de conservation de l'eau et des sols, présent dans chaque canton, pour conseiller et pour aider les fermiers qui demandent un appui technique et financier ; les services centraux effectuent les études et les projets.

Deux écoles s'affrontent encore aujourd'hui :

- l'une, à la suite de BENNET, observe que c'est le ravinement qui provoque les transports solides les plus spectaculaires ; or, le ravinement provient de l'énergie du ruissellement qui est fonction de sa masse et de sa vitesse au carré ($E. \text{Ruiss.} = 1/2 MV^2$). La lutte antiérosive s'organise donc autour des moyens de réduction de la vitesse du ruissellement et de sa force érosive (banquette de diversion, seuils et exutoires enherbés) sans réduire la masse de ruissellement au champs ;

- l'autre école, d'après les travaux de ELLISON (1944), sur les processus de battance des gouttes de pluie, et de WISCHMEIER et SMITH (1960), rappelle que le ruissellement se développe suite à la dégradation de la structure de la surface du sol par l'énergie des gouttes de pluie. La lutte antiérosive s'organise cette fois sur les champs autour du couvert végétal, des techniques culturales et d'un minimum de structures dans le paysage.

LA DÉFENSE ET RESTAURATION DES SOLS (DRS)

La défense et restauration des sols s'est développée en Algérie, puis autour du bassin méditerranéen entre les années quarante et les années soixante, pour faire face à de graves problèmes de sédimentation dans les retenues artificielles et de dégradation des

routes et des terres. Il s'agissait avant tout de mettre en défens les terres dégradées par le surpâturage et le défrichement et de restaurer leur potentiel d'infiltration par l'arbre, considéré comme le moyen le plus sûr d'améliorer le sol. D'énormes moyens mécaniques ont été mis en œuvre pour capter le ruissellement en nappe dans les terres cultivées (diverses banquettes, levés de Monjauze, etc.), pour reforester les terres dégradées et pour structurer des zones d'agriculture intensive (PLANTIE, 1961 ; MONJAUZE, 1964 ; GRECO, 1978).

La gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols (GCES) : une stratégie fondée sur le développement rural

Depuis 1975-1980, chercheurs, socio-économistes et agronomes ont élevé de nombreuses critiques pour constater l'échec fréquent des démarches d'équipement menées trop rapidement sans tenir compte de l'avis des populations (LOVEJOY et NAPIER, 1986).

Aux États-Unis, malgré cinquante ans de travaux remarquables des services de CES, 25 % des terres cultivées perdent encore plus de 12 t.ha⁻¹.an⁻¹, limite de tolérance sur les sols profonds.

Au Maghreb et en Afrique de l'Ouest, les paysans préfèrent souvent abandonner les terres aménagées par l'État plutôt que d'entretenir des moyens de production dont ils ignorent l'objectif et la propriété (HEUSCH, 1986).

Les raisons évoquées des échecs partiels sont multiples (MARCHAL, 1979 ; LEFAY, 1986 ; REIJ *et al.*, 1986) :

- choix de techniques peu adaptées au sol, au climat, à la pente ;
- mauvaise planification ou réalisation peu soignée ou absence de suivi et d'entretien ;
- absence de préparation des bénéficiaires et rejet du projet à cause d'une perte de surface non compensée par l'augmentation des rendements ;
- désorganisation des unités de production (parcelles morcelées et isolées).

Aussi fallait-il développer une nouvelle stratégie ; la GCES prend mieux en compte les besoins des gestionnaires des terres (paysans et éleveurs) en proposant des méthodes qui améliorent à la fois la capacité d'infiltration du sol et les rendements ou la marge bénéficiaire (ROOSE, 1987). Avec, pour point de départ, la façon dont les paysans ressentent les problèmes de dégradation des sols, elle comporte 3 phases :

- *dialogues préparatoires* entre paysans, chercheurs et services techniques. Cette phase comprend 2 enquêtes pour localiser les problèmes, évaluer leur importance, leur cause et les facteurs sur lesquels on va pouvoir jouer pour réduire le ruissellement et l'érosion. Elle comporte aussi des «tours de champs», avec une communauté villageoise active pour développer leur sens de la responsabilité communautaire et découvrir la façon dont ils ressentent les problèmes de dégradation et les stratégies qu'ils mettent en œuvre en vue d'améliorer l'usage de l'eau, d'entretenir la fertilité des sols, de renouveler la couverture végétale et de maîtriser la divagation du bétail ;

- la deuxième phase met en place des *expérimentations sur les champs des paysans* pour quantifier et comparer les risques de ruissellement ou d'érosion et les gains de rendement sous différents types de mise en valeur ou de techniques culturales ;

- enfin un *plan d'aménagement global* doit être défini après trois à cinq ans de dialogue pour intensifier rationnellement l'exploitation des terres productives, pour structurer le paysage et pour fixer les ravines en privilégiant les méthodes biologiques simples, maîtrisables par les paysans eux-mêmes. Rien ne peut se faire sans l'accord préalable des paysans amenés à gérer l'ensemble de leur terroir.

Après ce rapide tour d'horizon des stratégies en présence, voyons comment s'organise la lutte antiérosive dans la zone semi-aride d'Afrique occidentale.

LES DIVERSES STRATÉGIES EN MILIEU SOUDANO-SAHÉLIEN D'AFRIQUE

Entre les énormes billons accumulés par les Sénoufo et le semis direct des Mossi du Yatenga, les stratégies d'économie de l'eau sont vraiment contrastées. Il n'est donc guère étonnant que l'imposition uniforme des méthodes de CES mises au point par BENNET (1939) dans la plaine américaine aboutisse à des échecs. Il convient par conséquent d'analyser la diversité des conditions écologiques dans la zone étudiée avant de décrire la diversité des stratégies mises au point par divers groupes ethniques.

Le milieu soudano-sahélien est fragile et diversifié

Sous cette appellation globale, on peut distinguer 4 régions écologiques (tabl. I) (P = pluviométrie moyenne annuelle) :

- la région sahélienne (P = 150 à 400 mm) ;
- la région sud-sahélienne (P = 400 à 700 mm) ;
- la région nord-soudanienne (P = 700 à 1 000 mm) ;
- la région sud-soudanienne (P > 1 000 mm).

Les précipitations annuelles décroissent donc de 1 200 à 150 mm vers le nord, mais elles ont diminué de 200 mm en moyenne ces dix dernières années. Les pluies tombent en trois à six mois avec des intensités très élevées (45 à 75 mm.h⁻¹ pendant trente minutes) en comparaison avec la faible capacité d'infiltration des sols battants (3 à 12 mm.h⁻¹). Les averses journalières atteignent 75 à 50 mm tous les ans, 120 à 90 mm tous les dix ans et 170 à 110 mm tous les cent ans (BRUNET-MORET, 1963). L'indice d'érosivité des pluies (fig. 1) «Rusa» diminue de 600 à 100 à mesure qu'on se rapproche du Sahel (ROOSE, 1980).

Les paysages les plus fréquents sur granite et sur grès (fig. 2) sont formés d'un plateau cuirassé plus ou moins vaste, d'un court éboulis de blocs, d'un long glacis gravillonnaire recouvert d'un voile sablo-limoneux de plus en plus épais, d'un bourrelet de berge et du lit mineur souvent encaissé. La majorité des pentes sont faibles (0,5 à 3 %) mais très longues. Elles peuvent être envahies par des dunes plus ou moins anciennes ou être plus raides sur roches basiques ou quartziques.

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. Après quelques années de cultures (coton, arachide, niébé, ou divers haricots qui alternent avec sorgho, maïs, mil, fonio) avec labour et 2 sarclo-buttages 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 que pour la végétation naturelle.

Les cultures couvrent mal le sol et 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 sont utilisées pour quelques travaux artisanaux ou sont brûlées. Les jachères sont en voie de disparition, trop courtes et trop surpâturées pour régénérer efficacement la fertilité des sols.

La végétation, une savane arborée assez dense à l'origine, a été terriblement dégradée ces dernières années du fait du surpâturage, de l'extension des cultures, du ruissellement et de la baisse de niveau des nappes, des énormes besoins en bois de feu. Les troupeaux se sont beaucoup développés durant les années humides dans tout le Sahel ;

Tableau I - Diversification de la zone «soudano-sahélienne»

ZONE Pam exemple	SUD-SOUDANIENNE > 1000 mm Korhogo	NORD-SOUDANIENNE 1000 à 700 Koutiala	SUD-SAHÉLIENNE 700 à 400 Ouahigouya	NORD-SAHÉLIENNE 400 à 150 Gorom Mare Oursi
Références	CAMUS, 1976	B. MORET, 1963	B. MORET, 1963	CHEVALLIER <i>et al.</i> , 1982
Précipitation				
P annuel moyen	1 350	900	725	535
1969-1985	- 250	- 200	- 150	- 100
P mensuelle max.	318	250	207	177
P jour 1/1 1/10 1/100	76 - 119 - 169	62 - 107 - 166	55 - 101 - 146	49 - 79 - 109
I ₃₀ 1/1 1/10	75 - 106	60 - 78	59 - 82	32 45
Rusa	675	420	360	260
Drainage calculé	156 à 468	10 à 180 mm	0 à 50	0
Densité en hab.km ²	30 à 80	30 à 50/près de Koutiala	70 à >100	10 hab.km ²
Sols du versant	ferrallitique SA ± gravillon- naire	ferrugineux lessivé SA ± gravillon- naire + vertisols + sols bruns sur roche basique	ferrugineux lessivé SA ± gravillon- naire + vertisols + sols bruns sur roches basiques	ferrugineux peu lessivé sur dunes ou nappes sableuses sur sol brun rouge subaride.
Végétation	Savane arborée <i>Daniella</i> , <i>Parkia</i> <i>Butyrospermum</i> + <i>Andropogon</i> + divers	Savane arborée <i>Parkia</i> , <i>Butyrosp.</i> + épineux + <i>Andropogon</i> + divers	Savane arbustive <i>Combretum</i> , bao- bab. Acacias et épineux + rares <i>Andropogon</i> .	Steppe, bush- Baobab, acacias <i>Balanites</i> , <i>Zizi- phus</i> , graminées annuelles.

Agro-système	<i>Drainage farming</i> drainage des excès	<i>Rainfed farming</i> Infiltration totale des pluies	<i>Runoff farming</i> captage pluie + ruissellement.	<i>Valley farming</i> cultures limitées aux vallées.
Techniques traditionnelles	Ignames/grosses buttes maïs + divers/ billons mil/arachides + divers/billon Cultures associées aux arbres Drainage entre parcelles.	Cultures à plat +2 sarclages sorgho/coton mil/sorgho/arachide/niebe passage eau collinaire infiltration pluie/champ Murettes et cordons pierres. Alignements herbes/bois	Culture à plat +2 sarclages sorgho ou mil/ arachide ou niebe paillage, ZAI Boli = trous d'eau, cordons ou alignements pierres, herbes/bois parfois débutage/sable.	Semis à plat +2 sarclages mil sur sable sorgho sur bas-fond argileux pâturage sur versants jardins dans bas-fonds cultures décrués/mares
Techniques modernes proposées	CES (1964-1968) Reboisements cuirasses bandes d'arrêt fixation ravines protection rizières	GCES Koutiala 1985 . Amélioration parcours . Diguettes de protection . Haies vives + cordons, pierres ou bandes d'herbes . Exutoires enherbés . Aménagement bas-fond	DRS Gerès 1960-1965 puis CES ORD + FEER GCES CIRAD/ORD . Améliorer parcours . Mares pour bétail + Irrigation . Cordons pierres + herbes + haies vives/champs. . Aménagement ravines . Aménagement bas fond.	GCES . Plantation arbustes fourragers dans demi-lune ou fossé. . Aménagement par cours . Mares pour bétail . Captage ruissellement . Diguettes filtrantes/sur glacis . Cultures de bas-fonds.

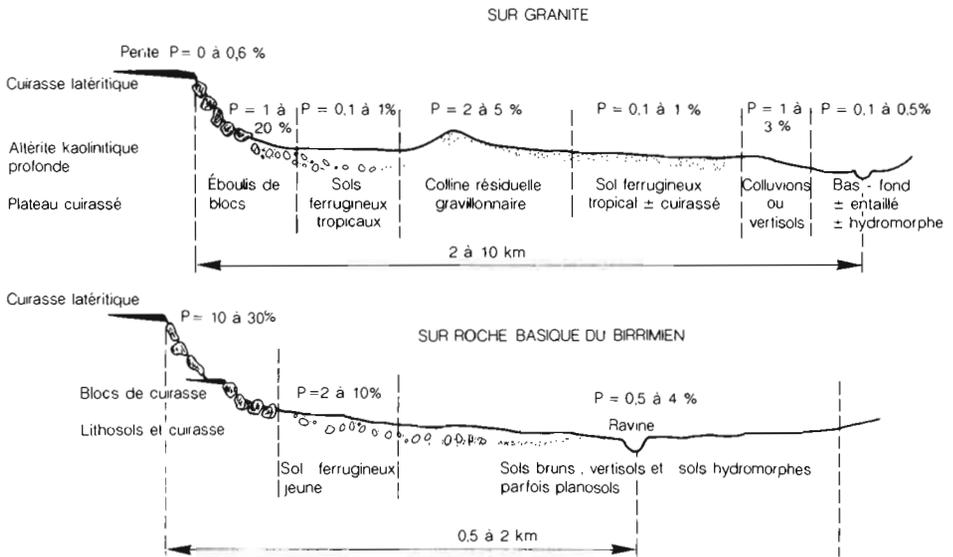


FIGURE 2 - Toposéquences typiques en région soudano-sahélienne du centre du Burkina Faso.

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 (QUILFEN et MILLEVILLE, 1984 ; HALLAM et VAN CAMPEN, 1985).

Les processus d'érosion les plus actifs dans cette zone sont l'érosion en nappe, l'érosion en ravine et l'érosion éolienne. Les études sur les transferts de matières par le vent et par le ravinement ont été fort peu développées jusqu'ici au sud du Sahara. Comme les processus d'érosion en nappe sont à l'origine de la dégradation des sols, du ruissellement et du ravinement, nous ne présenterons ici que le résumé des recherches sur parcelles d'érosion dans la région (tabl. II, III, IV, VI, VII, VIII, IX).

Zone sud-soudanienne : cultures pluviales drainées (*drainage farming*)

CAS DES SÉNOUFO DE LA RÉGION DE KORHOGO

Le milieu

L'ensemble des dispositifs de mesure d'érosion - drainage - pluie et des observations a été réalisé sur le bassin de Waraniene, à 5 km de Korhogo, bassin représentatif des savanes arborées à *Parkia biglobosa*, *Butyrospermum parkii*, et *Daniella olivieri* sur arène granitique du Nord de la Côte-d'Ivoire. La strate herbacée est abondante (*Andropogon*, *Hyparrhenia*, *Pennisetum*, etc.). L'ensemble de la végétation est profondément modifié par les feux de brousse quasi annuels, par les défrichements sélectifs et par les cultures traditionnelles billonnées.

Le climat, tropical de transition, est sec et chaud pendant quatre mois (d'où certains caractères de sol ferrugineux en surface) mais fort humide pendant quatre mois

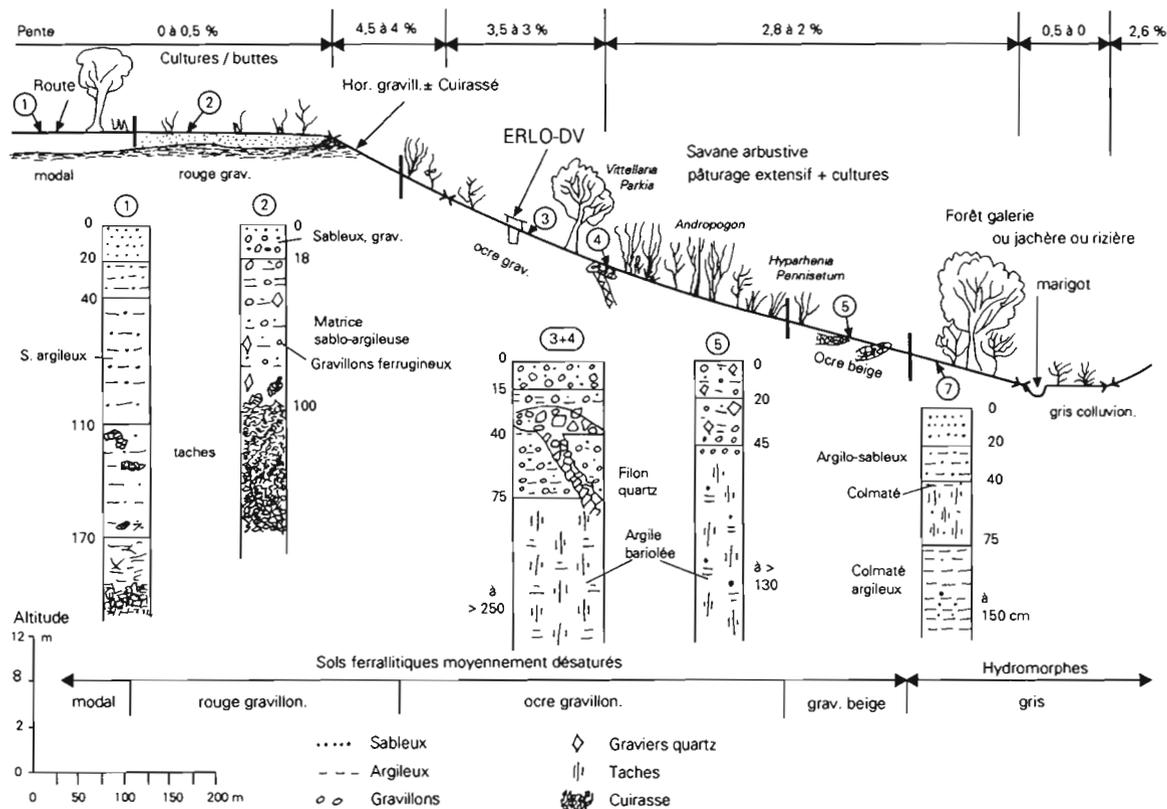


FIGURE 3 - Schéma de la toposéquence «Case Erlo-Dv» de Waraniene (Korhogo : Nord Côte-d'Ivoire).

($P = 150$ à 320 mm.mois⁻¹) pendant lequel on observe 160 à 450 mm de drainage (ROOSE, 1979). La toposéquence (fig. 3) comprend un plateau cuirassé (sols rouges ferrallitiques modaux au centre, gravillonnaires sur le pourtour), une ou plusieurs corniches cuirassées, un large glacis concave (pente de 4 à 2 %) (sols rouges gravillonnaires sous la corniche, ocre 100 m plus bas et ocre beige 400 m en aval) et une petite plaine colluviale (sols gris hydromorphes sableux) très cultivée (apport d'eau par infé-roflux).

Les cultures traditionnelles d'igname sur grosses buttes sont commencées dès février après défrichage et brûlis progressif. L'année suivante les buttes sont reprises pour former de gros billons (60 cm de hauteur, distance de 100 à 150 cm) sur lesquels les Senoufo plantent du maïs et divers condiments en cultures associées (ou quelquefois du manioc). Les troisième et quatrième années, le billon est fractionné et rejeté dans le sillon (sur les adventices et les résidus de culture) pour former un billon plus petit planté de mil, de sorgho, d'arachide et de divers légumes (gombo, tomates, tabac, etc.). Les bas-fonds plus ou moins étendus sur les colluvions latérales, sont occupés par des rizières irriguées.

Les observations

Les mesures sur petites parcelles d'érosion (tabl. II et III) montrent que les sols ferrallitiques sont très perméables tant qu'ils sont couverts ($KR = 1$ à 7 %), mais ils peuvent se dégrader et donner des coefficients de ruissellement importants ($KR = 40$ à 89 %) lors des averses de fréquence décennale qui tombent sur des sols dénudés humides. Les pertes en terre sous culture sont modérées ($E = 0,2$ à 6 t.ha⁻¹.an⁻¹) grâce à la présence de gravillons, de pentes modérées (2 à 3 %) ou de billons perpendiculaires à la pente.

Tableau II - Parcelles de Korhogo (ROOSE, 1979) 1967-1975 sur sol ferrallitique gravillonnaire, pente = 3 %, parcelles de 200 m² et 22 m de long. Pluies de 1156 à 1723 mm.an⁻¹ (Md = 1280 mm) et Rusa = 658 . $K = 0,021$ 0,011 (nappe de gravillons).

	KRAM %	KR max. %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Savane dégradée brûlis précoce	3,2	28	0,209
Sol nu travaillé chaque mois	33	89	5,4

Les stratégies traditionnelles de gestion de l'eau et des sols

Les versants sont couverts d'un damier de jachères et de champs plus ou moins étendus billonnés alternativement dans le sens de la pente ou perpendiculairement, qui assure un bon drainage plus ou moins ralenti par les cloisons de bordure de champs, l'orientation des billons et/ou la culture de riz pluvial dans les sillons ; les bordures des parcelles sont soulignées par un fossé, qui sert de déversoir aux eaux excédentaires et qui se transforme souvent en ravineau peu profond.

Au défrichage, les paysans respectent un certain nombre d'arbres utiles et de souches d'arbustes (souvent des légumineuses) qui vont envahir rapidement le terrain lorsqu'il est finalement abandonné à la jachère. Le faible niveau de fertilité est entretenu

Tableau III - Parcelles de Niangoloko (CHRISTOI, 1966) 1955-1961, sol ferrallitique sablo-argileux, pente = 2,5 %. Pluies de 979 à 1 422 mm (Md = 1 080 mm), cultures : mil-arachide-mil-arachide

	KRAM %	KR max. %	Érosion t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Jachère	0,4	1	0,09
Cultures à plat	6,6	39	25,4
Culture sur billons/pente	2	23	6,34
Culture sur billons à la pente	0,3	3	1,5

KRAM = Coefficient de ruissellement annuel moyen en % des pluies.

KR max. = Coefficient de ruissellement max. pour une forte averse.

E = Érosion à la parcelle exprimée en tonne par hectare et par an.

K = Érodibilité du sol selon WISCHMEIER et SMIDT (1960).

par l'apport des cendres du foyer et de poudrette mêlée au compost familial, par l'enfouissement des adventices et des résidus de cultures lors de la préparation des nouveaux billons et bien sûr par une jachère plus ou moins longue selon la pression démographique. Les Sénoufo acceptent facilement la présence des arbres à objectifs multiples dans leurs systèmes de production (fruits, bois de feu, perches, médicaments, etc.).

L'impressionnant travail du sol (buttes et billons qui dépassent 60 cm de haut) favorise la formation de beaux tubercules, mais améliore aussi considérablement l'infiltration (CAMUS *et al.*, 1976). Les paysans sénoufo remanient aussi les petits bas-fonds secondaires pour élargir la zone de riz irrigué.

Stratégie moderne d'aménagement des bassins versants

En 1964-1968 fut entrepris une action de CES sur la zone dense de Korhogo ayant 3 objectifs :

- protéger les rizières contre l'ensablement par les ravines ;
- reboiser pour produire du bois de feu et assurer la continuité du débit d'étiage des sources ;
- protéger les terres cultivées sur les versants en ralentissant le ruissellement.

On a donc boisé les éboulis cuirassés, planté quelques bois villageois, interdit les feux de brousse (amende collective de 10 000 à 25 000 FCFA en 1964 au village par où passe le feu) et tracé des pistes coupe-feu. Parallèlement, on a tracé au rooter des bandes d'arrêt enherbées et plantées d'arbres repères (anacardier, teck, gmélina) en courbe de niveau dans les champs et les jachères. Enfin, on a fixé quelques grosses ravines et aménagé les bas-fonds pour la riziculture irriguée.

Cet aménagement a été mis en place après l'échec des aménagements DRS du Groupement européen de restauration des sols de Haute-Volta (Geres) dans la région de Ouahigouya. GOSSELIN (1965) rapporte que dès 1962-1964 on a donc veillé à faire des investissements plus légers (300 m de bandes d'arrêt par hectare = 650 FCFA contre 7 000 FCFA pour les fossés de diversion du Geres et 9 000 FCFA pour les cordons de Vetiver. Ont été également favorisés les aménagements faciles à réaliser sans topographe expert (bandes enherbées sur 2 raies de Ripper) et qui ne demandent

presque pas d'entretien mais favorisent le couvert végétal du sol (lutte contre les feux de brousse, plantations d'arbres, pistes pare-feu). GOSSELIN (1965) a bien noté que le préliminaire de cet aménagement de l'espace est de réduire la divagation du bétail pour lequel il propose toute une série d'actions :

- amélioration des kraals - en pente avec apport de paille de brousse en vue de produire beaucoup de fumier collectivement ;
- plantation d'arbres qui servent de piquets verts tous les 5 m autour des villages pour y aménager des parcs à bestiaux ;
- amélioration des jachères : stylosanthes à brouter sur place en saison sèche ;
- clôture des pâtures pour éliminer les feux en supprimant les pailles sèches par broutage complet (3 ou 4 parcs en rotation rapide à raison de 2 animaux.ha⁻¹.an⁻¹).

On pourrait schématiser actuellement l'aménagement ainsi :

- favoriser le drainage des eaux excédentaires (billonnage cloisonné) dans des exutoires aménagés (exutoires largement profilés enherbés) ;
- favoriser l'infiltration, la couverture du sol, la production de biomasse et donc la protection des sols ;
- améliorer la gestion de la biomasse (feu, élevage, fourrage, paillage/compost) ;
- améliorer l'usage des arbres (agroforesterie) ;
- améliorer la gestion du bétail (production animale en fonction des potentialités fourragères).

VARIANTE : CAS DES SÉNOUFO DU SUD-MALI

Dans le cadre des opérations de recherche-développement menées par l'Institut d'économie rurale (IER) à Bamako, l'Institut royal des tropiques (IRT) à Amsterdam et la Compagnie malienne des textiles (CMDT) dans la région de Sikasso, la Division de recherche sur les systèmes de production rurale (DRSPR) a proposé aux paysans le système d'équipement antiérosif suivant (HALLAM et VAN CAMPEN, 1985 ; VAN CAMPEN *et al.*, 1985 ; VAN CAMPEN et KEBE, 1986) :

- grosse digue de protection en amont du bloc de culture avec diversion vers un exutoire aménagé tous les 200 à 300 m (largeur 10 m, profondeur 0,3 m) ;
- dans les champs cultivés, diguettes en terre de diversion (pente 0,3 %) tous les 100 à 50 m, protégées par enherbement (théoriquement) ;
- labour, sarclage et buttage le long de ces diguettes.

Ce système classique a donné satisfaction à quelques paysans car les nappes d'eau sauvages ne circulent plus sur leurs parcelles mais entre les champs. Cependant, les paysans désapprouvent les diguettes sinueuses implantées dans leur champs car l'irrégularité des parcelles pose des problèmes de mesure de surface, de calcul des intrants et surtout de mécanisation des travaux culturaux.

Ce système d'équipement antiérosif de blocs de culture sans tenir compte du parcellaire, ni de l'ensemble du système de production, ni des besoins économiques des paysans ne s'est pas étendu naturellement. Les pertes en surface (10 à 14 %) ne sont pas compensées par des augmentations tangibles de rendement. Le réseau de drainage se détruit rapidement par défaut d'entretien ; sans protection par enherbement, au bout de quatre ans les exutoires utilisés comme chemin d'exploitation sont ravinés, les fossés sont comblés de sédiments et les diguettes sont tassées et souvent cassées par les eaux débordantes ou par le passage du bétail. La réalisation du dispositif demande un gros effort au propriétaire et au personnel d'encadrement mais n'entraîne pas une dynamique communautaire de conscientisation pour l'aménagement de l'environnement (HALLAM et VAN CAMPEN, 1985 ; ROOSE, 1985).

Zone nord-soudanienne (P = 1 000 à 700 mm) : culture pluviale au sens stricte (*rainfed farming*). Cas des Minianka de la région de Koutiala (Mali)

LE MILIEU

Le milieu (tabl. I) est peu différent du milieu sud-soudanien à part bien sûr une fréquence plus faible des plus fortes averses, une réduction des risques de drainage, l'apparition de nombreux épineux (en particulier *Acacia albida*), le développement des sols ferrugineux tropicaux lessivés, beaucoup plus fragiles que les sols ferrallitiques et l'allongement des glacis en pente douce. L'environnement humain est fortement influencé par l'usine de coton de Koutiala, par un encadrement rapproché de la Compagnie malienne pour le développement de textiles (CMDT) et par une organisation villageoise très efficace. Les défrichements s'étendent rapidement en ne respectant que 10 à 30 arbres utiles à l'hectare.

Les cultures traditionnelles jadis essentiellement céréalières et cantonnées sur les hauts glacis gravillonnaires se développent actuellement sur le glacis sablo-limoneux suite à la vulgarisation de la culture attelée du coton (ou arachide/niébé sur sols pauvres) alterné avec des céréales (sorgho ou mil et/ou maïs). Le semis est effectué le plus tôt possible après labour ; il est suivi de 2 sarclages et éventuellement d'un buttage. Après la récolte, le paysan s'accorde avec un Peul pour y faire paître le troupeau à condition d'y installer un parc (contrat de fumure/pacage). Ensuite les tiges de coton sont brûlées pour raison sanitaire tandis que la majorité des pailles des céréales sont utilisées pour des besoins artisanaux, pour la cuisine et le bétail. Le restant (10 à 25 %) est brûlé sur place avant le labour. Les bas-fonds qui formaient jadis une réserve de fourrage vert en fin de saison sèche sont cultivés en sorghos s'ils sont secs, en riz s'ils sont hydromorphes ou en jardin potager/fruitier.

LES OBSERVATIONS

Les mesures sur parcelles d'érosion (tabl. IV, V, VI, VII) montrent que les sols ferrugineux tropicaux et les sols bruns sont presque aussi perméables que les sols ferrallitiques tant qu'ils sont bien couverts par une vieille jachère ou par une savane arborée. Mais, une fois cultivés, ces sols sont moins stables et laissent s'échapper un fort ruissellement inacceptable dans les zones semi-arides (KRAM [Coefficient de ruissellement annuel moyen en pourcentage des pluies] de 6 à 25 % et jusqu'à 75 % lors des averses de fréquence rare). Malgré les pentes faibles et le travail du sol (0,5 à 2 %) les pertes en terre sont trop élevées (14 à 20 t.ha⁻¹.an⁻¹) sur sol nu et sous cultures peu couvrantes (E = 3 à 6 t.ha⁻¹.an⁻¹). Sur le sol gravillonnaire peu profond de Gampela, seul le billonnage cloisonné est nettement différent des autres préparations du sol (non-travail traditionnel ou billonnage non cloisonné) mais il n'améliore pas les rendements car le sol ne peut stocker l'eau. À Gonsé, on a constaté une forte influence de la date des feux de brousse. Lors des plus fortes averses, la brousse brûlée tardivement se comporte pratiquement comme une parcelle nue (KR max 75 %).

LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION

Les techniques traditionnelles de conservation des sols sont limitées à des murettes en pierres si le sol est rocailleux (sur grès, quartzite ou roches vertes) ou à des lignes de

Tableau IV - Parcelles de Gampela (ROOSE et PIOT : 1984) 1967-1972 ; sol ferrugineux tropical sur cuirasse vers 25 cm ; pente 0,8 % ; surface 5 000 m² . Pluies de 636 à 817 mm.an⁻¹ (Md = 731 mm) Rusa MD = 319. K = 0,05 0,32 0,16. Cultures sorgho - mil - arachide - Essais influence du labour profond + billonnage au tracteur + diguettes de diversion

	KRAM %	KR max. %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Sol nu	-	-	16,0
Cultures à plat traditionnelles	22,5	40	4,1
Cultures sur billons/pente diguette en terre	23,7	45	5,9
Cultures sur billons/pente + diguettes en terre	18,2	37	4,4
Cultures sur billons pente cloisonnée + diguette en terre	4,6	31	1,4

Seul le billonnage cloisonné est nettement différent des autres traitements.

Tableau V - Parcelle de Gonsé (ROOSE, 1980) 1968-1974. Sol ferrugineux lessivé sur cuirasse, pente 0,5 %, surface 250 m². Pluies de 553 à 809 mm Md = 691 ; Rusa MD = 321. Savane arborée avec touffes d'herbes. Effet date feu de brousse

	KRAM %	KR max. %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Protection intégrale	0,3	1	0,033
Feux précoces	2,6	10	0,147
Feux tardifs	15,3	73	0,344

Tableau VI - Parcelles de Saria (ROOSE *et al.* , 1979) 1971-74. Sol ferrugineux lessivé sur cuirasse à 50 cm, pente 0,7 % ; Surface 100 m. Pluie 602 à 724 mm (Md = 643) Rusa Md = 380. K = 0,06 0,35 0,23

	KRAM %	KR max. %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Sol nu	39	70	20
Culture de sorgho butté	27	60	6
Jeune jachère	0	30	0,5
Vieille jachère	3	5	0,15

Tableau VII - Parcelles de Linoghin (PIOT et MILLOGO, 1980) 1973-1978. Sol brun vertique pente 1 à 1,3 % ; surface, 100 et 5 000 m. Cultures coton, sorgho, niébé, maïs, jachères ; travail du sol au tracteur. Pluies de 555 à 896 (Md = 636 mm) Rusa Md = 309 ; K = 0,008 0,28 0,14

	KRAM %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Sol nu travaillé après chaque averse	47	14,1
Sol cultivé à plat	18	3,2
Sol cultivé diguette + billon/pente	19	3,9
Sol cultivé diguettes + billons perpendiculaires pente	6,6	0,6
Vieille jachère naturelle		
- brûlée	19	0,8
- non brûlée	3,7	0,09

pierres, d'herbe ou de branches. Le travail du sol, peu profond mais répété toutes les trois à quatre semaines avant que la culture couvre sérieusement la terre, brise la croûte de battance en même temps qu'il détruit les adventices et rétablit une bonne infiltration dans le profil.

STRATÉGIE ACTUELLE D'AMÉNAGEMENT DES TERRAINS VILLAGEOIS

Suite à l'expérience de Fonsébougou, l'équipe de la DRSPR a développé à Kaniko (et dans 3 villages environnants) une approche plus souple où l'association villageoise après mûres discussions a décidé des priorités suivantes dans le plan général d'aménagement proposé (HALLAM et VAN CAMPEN, 1985 ; ROOSE, 1985) :

- protection du bloc de culture contre les eaux ruisselantes des collines par l'aménagement du parcours extensif (mise en défens, replantation d'arbres fourragers, bandes enherbées et lignes de cailloux dans les passages d'eau) et par un système de diguettes de protection dirigeant les eaux vers des exutoires aménagés. Implantation d'une pépinière villageoise ;

- protection des exploitations contre la divagation du bétail par l'implantation de haies vives autour des exploitations et plus tard des parcelles. Utilisation de buissons et d'arbres à objectifs multiples (*Acacia albida*, *Parkia*, *Butyrospermum*). Formation combinée d'exutoires fixés (saignées de pierres) plus ou moins enherbées et de routes d'accès pour évacuer les récoltes ;

- amélioration de l'infiltration sur les parcelles cultivées :

- griffage en sec, labour à plat, deux sarclages et buttage cloisonné,
- introduction de légumineuses en rotation ou en association (mucuna ou niébé, remplissage des manquants),

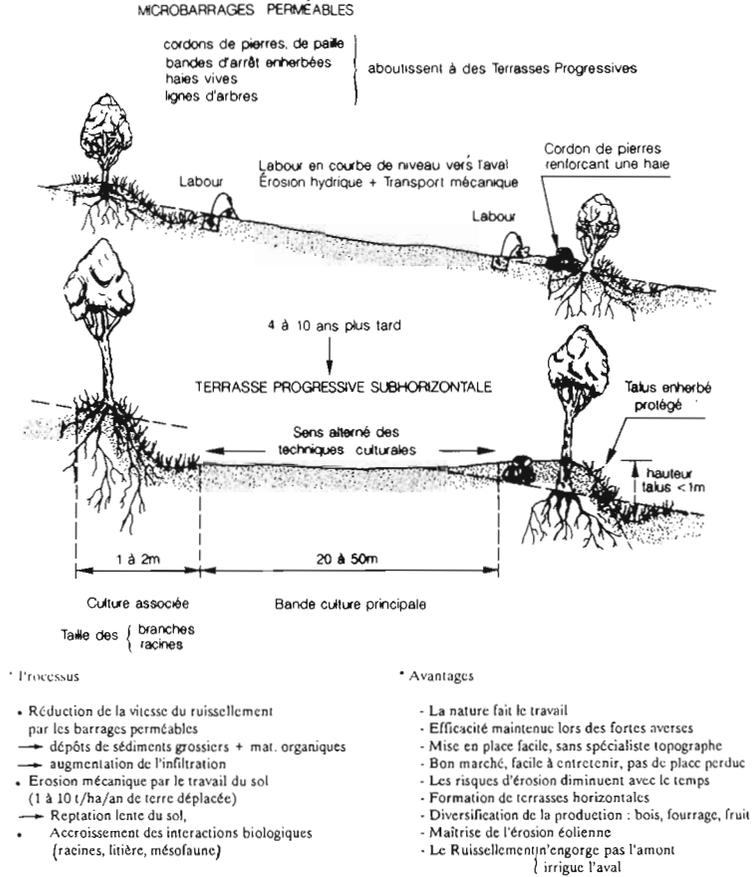


FIGURE 4 - Méthode des micro-barrages perméables.

- recyclage maximal des résidus de culture (fumière, compostière, etc.),
- bandes enherbées ou lignes de cailloux entre les limites de parcelles tous les 25 m pour ralentir le ruissellement naissant sur le champ (fig. 4) ;
- enfin aménagement des bourrelets de berges (souvent très dégradés) et des bas-fonds (rizière ou jardins qui associent des cultures sur plusieurs étages : légumes/fourrages, arbustes fruitiers, grands arbres) microbarrages constitués de diguettes en terre (2 m de hauteur) avec exutoires empierreés latéraux.

Si on inverse l'ordre, on risque un ensablement total des bas-fonds, mais le système veut favoriser toutes les initiatives paysannes, même si l'ordre prévu n'est pas toujours respecté. De cette façon, l'ensemble du village s'est engagé dans l'aménagement du terroir et son niveau d'information s'accroît de toutes les expériences de la communauté. Il est clair que ce projet DRSPR/CMDT, correspond bien à la stratégie GCES où la lutte antiérosive fait partie intégrante de l'amélioration du système agricole.

Zone sud-sahélienne (P = 700 à 400 mm) : culture sous impluvium (*runoff farming*). Cas des Mossi du Yatenga (Burkina Faso)

LE MILIEU

Le milieu est nettement plus aride que le climat soudanien, même en saison des pluies, de telle sorte qu'on y observe des manifestations d'érosion éolienne (voiles de sable, monticules de sable sous les touffes herbacées pérennes, nebka et dunes anciennes qui recouvrent les buttes cuirassées). La végétation est plus rabougrie et dispersée. Le *Butyrospermum* disparaît au bénéfice du baobab, du *Pterocarpus lucens* et des épineux (*Balanites*, *Ziziphus* et nombreux acacias dont le fameux *Acacia albida* qui constitue des parcs dans les vallées cultivées). Les graminées pérennes (*Andropogon*) se raréfient pour laisser la place aux graminées annuelles à cycle rapide.

Les paysages granitiques cuirassés s'estompent au Nord sous des nappes de sable (sols ferrugineux peu lessivés) tandis que les sols bruns ou vertiques des zones de roches vertes sont vigoureusement ravinés. Les nappes phréatiques ne sont plus alimentées par le drainage des versants mais par les mares des bas-fonds et par les zones gravillonnaires ou rocheuses.

Paradoxalement, la population, nombreuse dans cette région (localement de 70 à 110 hab.km⁻²) est habituée à des migrations saisonnières ou semi-permanentes vers les pays côtiers pour mieux valoriser le travail ; en saison sèche, les campagnes sont donc peuplées de vieux, de femmes et d'enfants : il faudra en tenir compte lors du choix du type d'aménagement du terroir.

LES OBSERVATIONS

Des mesures de ruissellement et d'érosion sont en cours à Bidi sur 3 grandes parcelles cultivées sous impluvium sur un versant sableux filtrant (LAMACHÈRE et SERPANTIÉ, 1988). Le ruissellement annuel n'est pas négligeable sous culture traditionnelle (10 à 30 %). Les cordons pierreux n'ont guère réduit le ruissellement global (- 1 à 5 %) ni les plus forts ruissellements (KR max. de 60 à 85 %). Cependant, lors des fortes averses, ils ont écrêté les débits de pointe (- 25 %), retardé et prolongé (quinze à trente minutes) les écoulements et, de ce fait, ils ont réduit les risques d'érosion. À leur abri peuvent se développer des systèmes de culture plus intensifs (fertilisation et travail répété du sol) qui améliorent l'infiltration mais fragilisent les sols. L'impluvium apporte aux parcelles cultivées un appoint de 100 mm qui ne contribue à la recharge de la réserve hydrique du sol que si on maintient sa capacité d'infiltration grâce à la rugosité créée par les pierres (gain d'infiltration de 25 mm) et par le travail du sol (gain d'infiltration de 75 mm). Cet appoint d'eau entraîne une augmentation de production de la biomasse (localisée surtout près de l'impluvium et devant les pierres) et des rendements (+ 33 à 81 %) sauf lorsque les pluies s'arrêtent trop tôt (- 11 % de grain en 1985). L'efficacité de l'aménagement sur l'infiltration varie suivant les averses en fonction des états de la surface du sol et des qualités des cordons de pierres : il faut donc prévoir l'entretien des parcelles et des aménagements (tabl. VIII, Bidi).

SYSTÈME TRADITIONNEL DE CULTURE ET DE GESTION DES EAUX

Les Mossi ont un comportement de pionniers. Ils défrichent en brûlant presque tous les arbres (sauf quelques *Acacia*, *Sclerocarya*, etc.) puis ils sèment le sorgho sur les

Tableau VIII - Ruissellement en zone sud-sahélienne. Parcelles de Bidi (LAMACHÈRE et SERPANTIÉ, 1988) 1985 à 1990. Sol ferrugineux tropical sablo-argileux bien drainant, profond de 25 à plus de 220 cm sur cuirase. Pente 2,5 %. Parcelles (100 x 20 m) sous impluvium (50 x 20 m). Culture de mil : 3 traitements : traditionnel, *idem* aménagé, *idem* aménagé + labour, fumure légère : 7 N + 10 P + 7 K, 2 sarclages + débattage. Aménagement = 6 cordons de pierres isohypses (2 lignes de blocs) tous les 20 mètres.

	PLUIE mm			RUISSellement KRAM %	KR max.	EFFET AMÉN. SUR REN- DEMENTS EN GRAIN
1985	239		tradit.	29	75	
		parcelles	tradit. + cordons	24	57	- 11 %
			tradit. + cordons + labour	-		
1986	530		1	24	85	
		parcelles	2	23	67	+ 81 %
			3	-	-	
1987	484		1	11	62	
		parcelles	2	8,7	60	+ 31 %

Les cordons pierreux ont peu d'action sur le ruissellement global (KRAM) mais bien sur les débits de pointe, le retard de l'écoulement et les risques d'érosion. L'impact sur les rendements en grain dépend des dernières pluies de l'année.

meilleures terres et le mil sur les terres sableuses, en poquets tous les mètres, sans travailler le sol, dès les premiers orages de mai ; ils recommencent les semis 2 à 5 fois puis ils assurent 2 sarclages à la houe. Sur les terres sableuses du Nord, le sarclage s'accompagne d'un débattage qui améliore l'infiltration (SERPANTIÉ, 1986). La culture attelée est en recul depuis la longue sécheresse. Pour faire face à l'épuisement des terres, les paysans apportent des matières organiques (5 t.ha⁻¹ de poudrette de kraal et de cendres ménagères ou un paillage de tiges de céréales et de rameaux de légumineuses buissonnantes peu appréciées par le bétail comme *Piliostigma reticulatum* et *Bauhinia rufescens*) ou ils abandonnent la terre à la jachère pâturée.

La méthode du ZAI pour récupérer les terres épuisées est tout à fait originale. Elle combine le piégeage du ruissellement, la fumure organique localisée et l'activité perforatrice des termites (trinervitermes) pour améliorer l'infiltration. Après un premier orage, le paysan creuse à la houe un petit trou (10 à 50 cm de diamètre, 10 cm de profondeur) et il y dépose un peu de poudrette ; ces matières organiques attirent les termites qui creusent jusqu'à la surface du sol des galeries pour s'en nourrir, puis tapissent les galeries de leurs excréta. À la deuxième averse, le ruissellement s'engouffre dans ces galeries et mouille le sol en profondeur en formant des poches d'humidité à l'abri de l'évaporation immédiate. Les 5 à 15 graines de mil ou de sorgho semées les jours suivants vont germer rapidement et trouver en profondeur une réserve d'eau et de nutriments qui leur permettront de tenir jusqu'aux averses suivantes. L'influence d'un léger paillage (1 à 2 cm) posé sur les plaques de sol infertile est semblable : les termites y reconstituent la macroporosité tandis que la paille protège le sol de la battance (ROOSE et PIOT, 1984).

La tradition des boli (trous d'eau de quelques mètres cubes avec rejet des déblais vers l'aval en demi-lune) permet également de récupérer une fraction des eaux de ruissellement pour alimenter en eau le bétail près des parcours ou pour irriguer un petit jardin (DUGUE, 1987).

Enfin, s'il manque de terre, les paysans Mossi récupèrent, par des structures en nid-d'abeilles, les *zipellés* (surfaces de terre érodées, dénudées et encroûtées où la jachère ne peut même plus se développer par défaut d'infiltration). Ils entourent leurs petites parcelles d'alignements de pierres, d'herbe ou de piquets pour ralentir le ruissellement et provoquer le dépôt de sédiments grossiers et perméables (sables, agrégats et matières organiques diverses). Dès la seconde année, cet horizon sableux est travaillé, fumé et planté ; il n'est pas rare d'y récolter 600 à 800 kg.ha⁻¹ de sorgho (WRIGHT, 1985). Par la suite, les parcelles récupérées sont plantées d'arbres à objectifs multiples (acacias, etc.) et un nouvel alignement est mis en place en amont pour capter les eaux ruisselantes des collines.

LE YATENGA, LABORATOIRE DES STRATÉGIES ANTIÉROSIVES

Depuis vingt-cinq ans, le Yatenga a connu une succession d'aménagements antiérosifs à grande échelle pour tenter de ralentir la dégradation rapide des couvertures végétales et pédologiques de ces paysages fragiles en bordure du Sahel.

La DRS de 1960 à 1965

Le Service forestier, puis le Geres, ont aménagé 200 000 ha, réalisé 35 000 km de fossés de diversion ou d'absorption, le rootage croisé des zones tassées gravillonnaires, 70 km de murettes ou de diguettes en pierres dans les exutoires, 24 barrages collinaires et d'autres structures en demi-lune pour améliorer l'infiltration dans le haut des versants (le parcours extensif) et pour protéger les plaines cultivées. Cet aménagement, intéressant techniquement, s'est rapidement soldé par un échec, car les paysans, non concernés, ont continué à vivre selon leur mode d'utilisation traditionnel du paysage (MARCHAL, 1979, 1986).

La CES de 1976 à 1985

Le Fonds de développement régional (FDR) puis le Fonds de l'eau et de l'équipement rural (FEER) ont fait appel à des groupements villageois décidés à construire des diguettes de diversion en terre sur des blocs de culture de 25 à 100 ha. Plus de 47 000 ha de terre de culture ont été aménagés en dix ans (MIETTON, 1986). Mais étant donné le rythme de construction (max. = 9 000 ha.an⁻¹) et la faible durée de vie des aménagements des parties de versant (deux à quatre ans, sans protection végétale des diguettes), il faudrait plusieurs siècles pour couvrir toutes les terres qui en ont besoin. On a donc été amené à reconsidérer les anciennes techniques traditionnelles étudiées par diverses organisations non gouvernementales (WRIGHT, 1985).

La GCES de 1985 à 1988

Parmi de nombreux projets d'aménagements antiérosifs qui évoluent rapidement - Projet agriculture écologie (PAE), Projet agroforestier (PAF), Association française des volontaires du progrès (AFVP), OXFAM, etc. -, nous ne rapporterons ici que celui de la cellule recherche-développement de l'Institut national d'étude et de recherche agricole (Inera)/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)-département des systèmes agraires (DSA) au sein du Centre de recherche pour la promotion agricole (CRPA) de Ouahigouya (Dugue, 1986-1987 ; RODRIGUEZ, 1987 ; ROOSE, 1986-1987). La stratégie GCES est la même qu'au Mali, à savoir :

- enquête auprès des paysans-éleveurs sur leurs problèmes de gestion de l'environnement : dégradation de la fertilité des sols, de l'infiltration, des matières organiques ;
- recherche expérimentale des techniques traditionnelles les mieux adaptées pour accroître l'infiltration, la production de biomasse et donc pour mieux assurer la protection des sols sur les terres cultivées ;
- plan d'aménagement de l'ensemble du paysage conçu avec les paysans (ROOSE et RODRIGUEZ, 1990).

LES CHOIX DES MOSSI DU YATENGA

Les choix des Mossi du Yatenga ont été assez différents de ceux des Minianka (Koutiala, Mali).

Les Mossi ont préféré commencer par l'aménagement de leurs parcelles individuelles et sont tentés de capter le ruissellement à tous les niveaux de la toposéquence

- cordons ou alignements de pierres qu'il faudrait pérenniser en réservant une bande enherbée (*Andropogon*) à l'amont pour étaler le ruissellement et une haie vive à l'aval avec des arbres tous les 5 m pour tenir les pierres en place ;
- plantation d'arbres autour des parcelles ;
- utilisation maximale des résidus de culture - fumière au village, compostière au champ ;
- grattage des sols lors des premières averses, labour à plat avec 2 sarclages et buttage cloisonné pour rompre la croûte de battance ;
- récupération de l'eau des pistes sur les champs voisins, dérivation des petites ravines.

Aménagement du haut glacis pour récupérer le ruissellement qui provient des parcours

- contrat de mise en défens temporaire par rotation des parcours avec replantation d'arbres et herbacées fourragères ;
- trou d'eau en tête des ravines (citerne) qui évolue en microbarrage demi-lune pour alimenter le bétail et organiser une irrigation d'appoint sur 1 000 m² (maïs hâtif puis pastèques) ;
- diguette en terre et cordon pierreux perméable qui captent les eaux de ruissellement d'un impluvium pour l'irrigation d'appoint d'un champ (BEDU, 1986).

Aménagement progressif des bas-fonds

- en amont, diguette filtrante (SERPANTIÉ à Bidi ; PAE, AFVP - Groupement de recherche et d'échanges technologiques (Gret)/Centre interafricain d'études hydrauliques (CIEH) à Kongoussi/Rissian ;
- diguette en terre (hauteur inférieure à 2 m) avec exutoire latéral empierré ;
- microbarrage en gabions avec exutoire central.

À tous les niveaux du paysage, il s'agit de capter, de ralentir puis de redistribuer le ruissellement pour augmenter le stockage de l'eau en surface ou dans la nappe en vue d'améliorer la production ou de réduire les risques. L'apport immédiat d'un supplément de ruissellement sur les parcelles déjà humides en cours d'averse pose des problèmes (risque de ravinement) ; le creusement de citernes ou de petites mares est plus

satisfaisant, mais il reste à mettre au point une pompe à main capable d'élever $10 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ à 1 m au-dessus du sol.

Là où il manque de pierres, on cherche à mettre au point des microbarrages biologiques (haie vive ou ligne de végétation difficiles à maintenir tant que le bétail circule librement en saison sèche) ou des segments de diguettes en terre protégées tous les 25 m par un exutoire empierré de sécurité.

Zone nord-sahélienne ($P < 400 \text{ mm}$) : cultures localisées dans les bas-fonds (*valley farming*). Cas des communautés Peul, Songhaï et Bella de la mare d'Oursi (Burkina Faso)

LE MILIEU

On constate une nette rupture avec les précipitations des régions soudaniennes : les pluies sont plus erratiques et limitées dans l'espace, leurs hauteurs et intensités sont beaucoup plus faibles (tabl. I). Si les sols sont sableux, on observe peu de ruissellement que le sol soit cultivé en mil ou en jachère (couverture végétale faible, surpâturage) mais une érosion éolienne non négligeable. En revanche, sur les piémonts et glacis limono-argileux, les sols mis en culture sont vite glacés et on observe un ravinement très actif et une dégradation rapide sous culture de sorgho (CHEVALLIER *et al.*, 1985).

LES OBSERVATIONS

Des mesures d'érosion et de ruissellement ont été effectuées par le Centre technique forestier tropical (CTFT) pendant trois ans à la mare d'Oursi, sur un voile sableux au pied d'un massif de gabbro. Le ruissellement est d'ordinaire assez faible (5 à 10 %). Le travail du sol, en cassant la croûte de battance, améliore l'infiltration déjà très élevée sur ces voiles sableux ; cependant, lors des fortes averses, on peut encore enregistrer plus de 40 % de ruissellement (y compris sur jachère en défens). L'érosion hydrique est encore forte sur sol nu, (pentes de 5 %) mais peu élevée les années les plus sèches tant sur mil que sur jachère en défens. Ce qui n'apparaît pas ici ce sont les transports éoliens très actifs dès qu'on remue la surface du sable. (tabl. IX).

Tableau IX - Parcelles de la mare d'Oursi (PIOT et MILLOGO, 1980) 1977-1979. Sol ferrugineux peu lessivé sur placage éolien en piémont sur massif de gabro, pente 5 %. Surface 100 et 2 800 m. Cultures mil. Rusa 53 à 171. Pluie 279 à 388 mm

	KRAM %	KR max. %	E t.ha ⁻¹ .an ⁻¹	
			Md	ANNÉES SÈCHES
Nu travaillé après chaque averse	6	37	17,8	16
Cultivé en mil	5,5	44	2,2	0,6
Jachère en défens	9,7	44	1,6	0,2

LE SYSTÈME TRADITIONNEL DE CULTURE ET D'AMÉNAGEMENT

Alors qu'au Nord du Sahara en milieu méditerranéen (pluies en saison fraîche), il existe plusieurs systèmes pour collecter les eaux de pluie ou de ruissellement pour faire pousser des arbres ou des céréales au milieu de larges impluviums (jessour, citerne, tabia, fogara, par exemple), les stratégies de gestion des eaux dans la zone tropicale sahélienne (pluies en période chaude) sont peu apparentes. En réalité, elles s'appuient sur le choix des cultures en fonction des sols (mils sur sols sableux, sorghos dans les bas-fonds et jardins irrigués autour des mares), sur l'adaptation aux opportunités des orages (très faible travail du sol, semis directs répétés très peu coûteux en graines (3 kg.ha⁻¹) et en travail (9 h), grandes surfaces semées quitte à en laisser une partie lors du sarclage) et sur les migrations à faible distance (récolte de fonio sauvage, de bulbes de nénuphar), habitation sur les champs de novembre à août près des greniers et du lieu de traite, migration du troupeau sur un pâturage occasionnel) (MILLEVILLE, 1982).

D'après MILLEVILLE (1982), la limite de culture des céréales passe par l'isohyète 350 mm de précipitation ; le choix de la mare d'Oursi est donc un peu limite pour représenter cette zone. Cependant, les pluies annuelles ont beaucoup baissé ces dernières années et les pluies sont très variables selon les années et les terroirs et leur efficacité varie en fonction des sols et de la répartition des pluies. De plus, les rendements en grain (150 à 250 kg.ha⁻¹) sont si faibles que l'élevage et le nomadisme à faible distance sont très importants pour assurer la survie.

SYSTÈME D'AMÉNAGEMENT MODERNE

Le milieu étant extrêmement fragile, il est périlleux de conseiller le développement du système agropastoral au rythme de la croissance démographique. En réalité, le développement semble bloqué aujourd'hui car presque toutes les terres cultivables sont cultivées ; avec la disparition des jachères, les sols s'épuisent et le coût des intrants (fertilisation minérale, graines à cycle court) n'est rentable que les années où les pluies sont abondantes et bien réparties (MILLEVILLE, 1982).

On pourrait cependant expérimenter à l'échelle d'un terroir comme à Keita (Niger) :

- l'installation de haies vives ou d'épineux fourragers (*Balanites*, *Acacia albida*) sur les zones sableuses ;
- des impluviums qui collectent les eaux pour de petits champs billonnés sur glacis ;
- l'aménagement agroforestier des bas-fonds (cordon de pierres, haies vives, arbres fourragers ou fruitiers) ;
- l'aménagement des bordures de mare en vue d'une culture intensive diversifiée (fourrages pour la production laitière, céréales, légumes et quelques fruitiers).

Cependant, il est clair que la production agricole est limitée aux bas-fonds et que l'élevage avec un nomadisme à faible distance est mieux adapté à ce milieu sahélien très fragile.

CONCLUSION

Le milieu semi-aride d'Afrique occidentale est en définitive très diversifié dans l'espace (du point de vue ressource en eau, distribution des orages, capacité d'infiltration des sols) et dans le temps (variabilités interannuelle et saisonnière). La végétation naturelle évolue très différemment selon la zone climatique et le mode d'exploitation par l'homme et les troupeaux. En outre, les différentes ethnies qui occupent

aujourd'hui ces paysages ont adapté leurs modes d'exploitation du milieu et leur stratégie de gestion de l'eau et de la fertilité des sols à cette diversité écologique.

Face aux pressions démographiques et socio-économiques, ces modes de gestion ne sont plus adaptés et les couvertures pédologiques se dégradent. Les stratégies modernes «d'équipement rural imposées par des ingénieurs dépêchés par le pouvoir central» (LILIN, 1986) sont trop rigides ; mal adaptées à la diversité des circonstances écologiques et humaines, elles se heurtent à la résistance des traditions populaires.

Devant ces échecs, constatés tant aux États-Unis qu'au Maghreb et en Afrique occidentale, l'auteur suggère une approche de développement rural, «la gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols» (GCES):

- qui part d'une enquête sur les besoins ressentis par les paysans-éleveurs, et la diversité des risques de dégradation du milieu ;
- qui expérimente sur leurs propres champs les techniques simples les plus prometteuses en vue d'améliorer l'infiltration, la production de biomasse, et finalement de réduire les risques d'érosion ;
- qui forme progressivement les communautés villageoises à la gestion de leur environnement.

Le ruissellement est abondant sur les longs glacis mal couverts de ces zones semi-arides. Pour réduire les pertes en eau et en nutriments, les structures antiérosives ne suffisent pas, mais elles sont souvent indispensables pour installer un système cultural plus intensif qui vise une meilleure infiltration (travail du sol pour rompre l'état encroûté de la surface), une meilleure stabilité structurale (gestion de la biomasse et en particulier des résidus de culture) et une amélioration des conditions de croissance des plantes (fertilisation minérale et organique).

Cela prend du temps ; c'est difficile à financer mais c'est un nouveau champ d'expérimentation qui s'ouvre aux chercheurs... bien loin des stations de recherches classiques. Il manque en effet cruellement :

- des mesures quantitatives des érosions éolienne et hydrique en zone sahélienne et de l'efficacité des diverses méthodes de conservation de la productivité des sols ;
- des informations sur les moyens d'augmenter la sécurité des systèmes de production et sur les aspects économiques et sociologiques de la lutte antiérosive.

É. Roose : *pédologue*, ORSTOM, 911 av. Agropolis, BP 5045, 34032 Montpellier cedex

BIBLIOGRAPHIE

- BEDU (L.), 1986. - Contribution à la mise en valeur du Yatenga. Aspects techniques du projet d'aménagement de Ziga. Rapport de stage ESAT, 87 p.
- BENNET (H.), 1939. - Elements of Soil Conservation. Mac Graw-Hill, New-York, 2^e édit.
- BONVALLOT (J.), 1986. - Tabias et jessour du sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 163-172.
- BRUNET-MORET (Y.), 1963. - Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Haute-Volta. ORSTOM Paris, 23 p., *multigr.*
- BRUNET-MORET (Y.), 1963. - Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République du Mali. ORSTOM Paris, 23 P + graphes., *multigr.*
- CAMUS (H.), CHAPERON (P.), GIRARD (G.) et MOLINIER (M.), 1976. - Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical. Influence de la mise en culture (Korhogo, 1962-1972). Paris, *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 52, 81 p.

- CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.) et BERNARD (A.), 1985. - Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi : 1976-1981. *Trav. et Doc. ORSTOM*, Paris, 190, 252 p.
- CHRISTOI (R.), 1966. - Mesure de l'érosion à Niangoloko (Haute-Volta). *Oléagineux*, 21, 8 : 531-634.
- DUGUE (P.), 1986. - Appropriation des techniques de lutte contre l'érosion et le ruissellement par les paysans du Yatenga. *Doc. Systèmes Agraires*, n° 6 : 41-48.
- DUGUE (P.), 1987. - Programme de recherche/développement du Yatenga. Rapport de synthèse 1986. INERA Ouagadougou, 96 p. + Ann.
- ELLISON (W. D.), 1944. - Studies of raindrop erosion. *Agr. Eng.*, 25 : 131-181.
- GOSSELIN (P.), 1965. - Conservation des sols et aménagement des terroirs de la région Nord (Boundiali, Odiénne, Korhogo). Rapport Service des sols Korhogo (Côte-d'Ivoire) du 1-4-1962 au 1-4-1964. 36 + 24 p.
- GRECO (J.), 1978. - La défense des sols contre l'érosion. La Maison Rustique, Paris, 183 p.
- HALLAM (G.) et VAN CAMPEN (W.), 1985. - Reacting to farmers complaints of soil erosion on agriculturally intensive farms in Southern Mali : from fixed answer to flexible response. *Proc. ISCO 4*, Maracay, Venezuela : 638-653.
- HEUSCH (B.), 1986. - Cinquante ans de banquette de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 153-162.
- LAMACHÈRE (J.-M.) et SERPANTIÉ (G.), 1988. - Conséquence de trois méthodes d'amélioration des bilans hydriques au champs pour une culture de mil : Bidi, Burkina Faso. ORSTOM Ouagadougou, 39 p., *multigr.*
- LEFAY (O.), 1986. - Étude de l'efficacité des travaux de DRS en Algérie. Rapport de stage ORSTOM-CNEARC - INRF, 50 p. + annexes.
- LILIN (Ch.), 1986. - Histoire de la restauration des terrains en montagne. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 139-146.
- LOVEJOY (J. B.) et NAPIER (T. L.), 1986. - Conserving soil : sociological in-sights. *J. Soil and Water Cons.*, 41, 5 : 304-310.
- MARCHAL (J.-Y.), 1979. - L'espace des techniciens et celui des paysans. *Mém. ORSTOM*, Paris, n° 89 : 245-252.
- MARCHAL (J.-Y.), 1986. - Vingt ans de lutte antiérosive au Burkina Faso. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 173-180.
- MIETTON (M.), 1986. - Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 181-196.
- MILLEVILLE (P.), 1982. - Étude d'un système de production agropastoral sahélien de Haute-Volta. ORSTOM Ouagadougou, 66 p., *multigr.*
- MONJAUZE (A.), 1964. - Rénovation rurale : rôle et dispositifs des aménagements d'infiltration. Délégation générale, dépt. forêts, service DRS, Alger, 16 p.
- PIOT (J.) et MILLOGO (E.), 1980. - Synthèse de six années d'étude du ruissellement et de l'érosion à Linoghin (Haute-Volta). CTFT, Ouagadougou, Haute-Volta.
- PLANTIE (L.), 1961. - Technique française algérienne de banquettes de DRS. Délégation générale dépt. forêts, service DRS d'Oran, 22 p.
- QUILFEN (J.-P.) et MILLEVILLE (P.), 1984. - Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta). *Agron. trop.*, 38, 3 : 206-212.
- REIJ (C.), TURNER (S.) et KUHLMAN (T.), 1986. - Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa. Issues and options. CDCS, FREE University Amsterdam, 82 p.
- RODRIGUEZ (L.), 1987. - Les aménagements collectifs contractuels de Ziga et Sabouna. Perspectives. Inera-ORD Ouahigouya, 12 p. + Ann.

- ROOSE (É.), 1979. - Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique gravillonnaire issu de granite, sous culture et sous savane arbustive soudanienne : Korhogo, 1967-1975. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 17, 2 : 81-118.
- ROOSE (É.), 1980. - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. *Trav. et Doc. ORSTOM*, Paris, n° 130. , 569 p.
- ROOSE (É.), 1985. - Conservation des sols au sud Mali : rapport de mission auprès de la DRSPR, Sikasso Mali, 22 p.
- ROOSE (É.), 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, sér. Pédol.*, 22, 2 : 197-208.
- ROOSE (É.), 1986-87. - Aménagement intégré et lutte contre le ruissellement et l'érosion en région soudano-sahélienne du NW du Burkina Faso. Rapport de mission ORSTOM Inera/ORD, 22 p.
- ROOSE (É.), 1987. - Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahélien d'Afrique Occidentale. Stratégie ancienne et nouvelle. Séminaire Icrisat/INRAN, Niamey. 24 p., proceedings Icrisat, Patancheru, 385p. : 55-72.
- ROOSE (É.), ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.-F.), 1979. - Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne : Saria (Haute-Volta) : synthèse des campagnes 1971-74. ORSTOM Paris, 123 p., *multigr.*
- ROOSE (É.) et PIOT (J.), 1984. - Runoff, erosion and soil fertility restoration in the Mossi Plateau. *Proc. Harare Symposium, IAHS, Public*, n° 144 : 485-498.
- ROOSE (É.) et RODRIGUEZ (L.), 1990. - Aménagement du territoire au Yatenga (N. O. du Burkina Faso). Quatre années de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols. CRPA de Ouahigouya, ORSTOM, Montpellier, 40p.
- SERPANTIÉ (C.), 1986. - Confrontation paysans-aménageurs au Yatenga. Comm. 1-9 Séminaire Cirad/DSA Montpellier, 22 p.
- VAN CAMPEN (W.), HALLAM (G.), BA (L.) et VIERSTRA (C.), 1985. - La lutte antiérosive et la conservation des sols : Activités de la DRSPR dans la zone de Fonsebougou et de la ZAER de Kaniko - IER, DRSPR Sikasso, Mali, 36 p.
- VAN CAMPEN (W.) et KEBE (D.), 1986. - Lutte antiérosive dans la zone cotonnière au Mali-Sud. Comm. 3^e Séminaire Cirad/DSA Montpellier, 25 p.
- WISCHMEIER (W. H.) et SMITH (D. D.), 1960. - A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *7th Intern. Soil Science*, vol. 1 : 418-425.
- WRIGHT (P.), 1985. - La gestion des eaux de ruissellement au Yatenga (Burkina Faso). OXFAM, Ouagadougou, 38 p.