

Comité Interafricain
d'Études Hydrauliques
(CIEH)
Burkina Faso

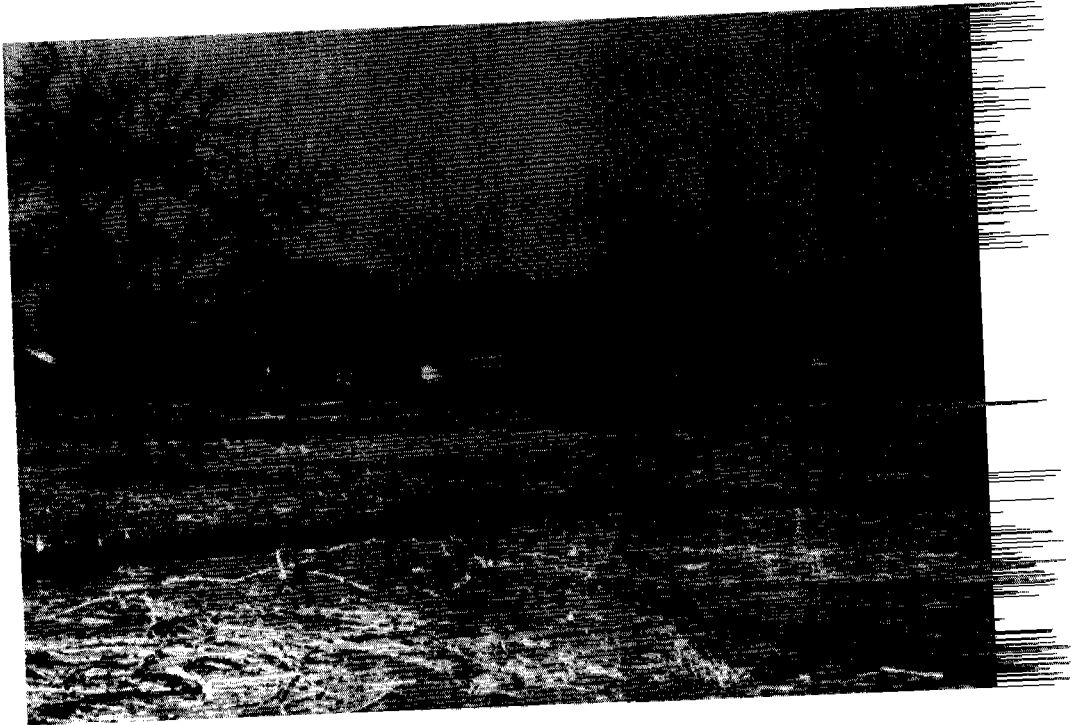


Université Agronomique
Wageningen
(UAW)



276 9288

**LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX
ET DES SOLS DANS LES PAYS DU SAHEL**



par J.C.J. VLAAR (Ed.)

1992

276-92TE-11865

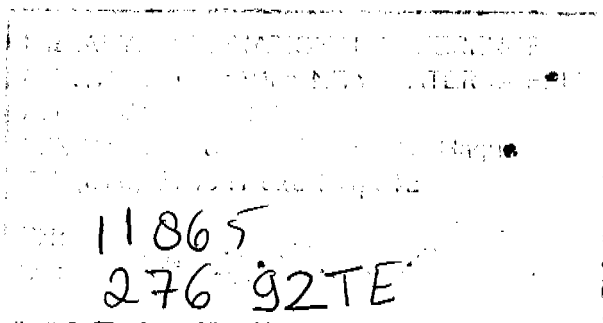
Comité Interafricain
d'Études Hydrauliques
(CIEH)
Burkina Faso

Université Agronomique
Wageningen
(UAW)



**LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX
ET DES SOLS DANS LES PAYS DU SAHEL**

COMITÉ
INTERAFRICAIN D'ÉTUDES
HYDRAULIQUES
BURKINA FASO
SAHEL (B.F.)



par J.C.J. VLAAR (Ed.)

1992

Citation correcte: Vlaar, J.C.J. (Ed.), 1992. *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel*. Rapport d'une étude effectuée dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays-Bas.

Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

01 B.P. 369; Ouagadougou; Burkina Faso
Tel. (226) 307115 & 307112; Fax (226) 362441

Université Agronomique Wageningen

Bureau des Relations Extérieures, Programme Sahélien
Costerweg 50; B.P. 9101; 6700 HB Wageningen; les Pays-Bas
Tel. (31) 8370 84456; Fax (31) 8370 84292

L'étude a été financée par l'Université Agronomique Wageningen.

AVANT PROPOS

Le présent rapport est le résultat de plusieurs années de collecte de données par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), et l'Université Agronomique de Wageningen (UAW, Pays-Bas). Dans le cadre d'un programme de collaboration qui a débuté en 1987, cette Université avait mis à la disposition du CIEH Monsieur J.C.J. Vlaar⁽¹⁾, qui avait pour tâche de réaliser, entre autres, cette étude.

Les étudiants F. Hottinga, F. Keukelaar et V. Mol ont collecté une bonne partie des données sur le terrain ; M. J.J. Kessler⁽²⁾ a fourni des données pour la section 3.3 (mesures végétatives) et M. W.B. Hoogmoed⁽³⁾ pour la section 3.1 (travail du sol). Ensuite, M. P. Fraval⁽⁴⁾ a contribué à la rédaction des chapitres 1 et 2.

Nous remercions tous les responsables des projets qui nous ont fourni les éléments nécessaires pour réaliser cette étude, ainsi que pour leurs commentaires sur les versions provisoires du document : Messieurs Gadelle, Directeur Technique du CIEH, G. Mosselmans, chef du Département Hydraulique Agricole du CIEH entre 1987 et 1991, et B.E.J. Lekanne dit Deprez du Département Sociologie de l'UAW.

N.B. Une partie des données de cette étude est déjà parue dans la série «Etudes et Débats» du BIT (BIT, 1991), pour laquelle MM. G. Mosselmans et J.C.J. Vlaar avaient réalisé un premier document en 1989.

⁽¹⁾ Monsieur J.C.J. Vlaar est ingénieur agronome/génie rural. Il a été mis à la disposition du CIEH par l'UAW d'août 1987 à juillet 1990, période durant laquelle il a mené plusieurs programmes de recherche sur la conservation des eaux et des sols (CES).

⁽²⁾ Monsieur J.J. Kessler est écologiste. Il a été mis à la disposition du Ministère de l'Environnement et du Tourisme (MET) du Burkina Faso par l'UAW de septembre 1988 à novembre 1990. Durant cette période, il a mené plusieurs programmes de recherche dans le domaine de la régénération des terres dégradées au Burkina Faso.

⁽³⁾ Monsieur W. B. Hoogmoed est ingénieur en machinisme agricole. Il travaille au Département du Labour du Sol de l'UAW, et s'occupe de deux projets de recherche sur les effets du travail du sol au Mali, Burkina Faso et Niger.

⁽⁴⁾ Monsieur P. Fraval est ingénieur des travaux ruraux. Il a travaillé au Département Hydraulique Agricole du CIEH de novembre 1990 à mai 1992.

**Les Techniques de Conservation des Eaux et des Sols
dans les pays du Sahel
J.C.J.Vlaar (Ed.) 1992. CIEH/UAW Ouagadougou**

TABLE DES MATIERES

	page
Listes des annexes et des figures	i
Liste des abréviations	ii
Résumé	iv
INTRODUCTION.....	1
1 - DESCRIPTION DE LA REGION (par J.C.J. Vlaar et P. Fraval).....	2
1.1 - Les zones agro-climatiques.....	2
1.1.1 - Pluviométrie.....	2
1.1.2 - Températures.....	4
1.1.3 - Vents.....	4
1.1.4 - Végétation.....	4
1.2 - Géomorphologie et sols.....	5
1.2.1 - Géologie.....	5
1.2.2 - Géomorphologie.....	5
1.2.3 - Les sols.....	7
1.3 - L'exploitation des ressources naturelles.....	7
1.3.1 - Agriculture et sylvo-pastoralisme.....	7
1.3.2 - Régions particulièrement menacées par la dégradation.....	10
2 - EXPERIENCES DANS LE DOMAINE DE LA C.E.S (par J.C.J. Vlaar et P. Fraval).....	12
2.1 - Techniques traditionnelles et modernes de CES.....	12
2.1.1 - Terres agricoles.....	12
2.1.2 - Terres sylvo-pastorales et terroirs.....	13
2.2 - Projets d'exécution.....	13
2.2.1 - Anciens projets.....	13
2.2.2 - Projets actuels.....	15
2.3 - Projets de recherche.....	24
3 - DESCRIPTION DES TECHNIQUES DE C.E.S.....	27
3.1 - Travail du sol (par W.B. Hoogmoed et J.C.J. Vlaar).....	27
3.1.1 - Généralités.....	27
3.1.2 - Grattage-scarifiage.....	31
3.1.3 - Labour à plat.....	33
3.1.4 - Sous-solage.....	39
3.1.5 - Billonnage et buttage.....	40

3.2 - Ouvrages durables (par J.C.J. Vlaar).....	45
3.2.1 - Zay.....	45
3.2.2 - Demi-lunes.....	47
3.2.3 - Diguettes en terre.....	49
3.2.4 - Fossés ados.....	51
3.2.5 - Cordons de pierres.....	55
3.2.6 - Dignes filtrantes.....	57
3.2.7 - Traitement de ravines.....	60
3.3 - Mesures végétatives (par J.J. Kessler et J.C.J. Vlaar).....	62
3.3.1 - La végétation et l'érosion ; quelques considérations fondamentales	62
3.3.2 - L'utilisation de la végétation pour diminuer l'érosion hydrique..	63
3.3.3 - L'utilisation de la végétation pour diminuer l'érosion éolienne..	64
3.3.4 - La production de bois.....	66
3.3.5 - Conclusions.....	66
4 - APPLICABILITE, EFFICACITE ET CONTRAINTES (par J.C.J. Vlaar)	68
4.1 - Applicabilité et efficacité.....	68
4.1.1 - Typologie des ouvrages selon leur applicabilité.....	68
4.1.2 - Typologie des ouvrages suivant leur évaluation technique.....	68
4.2 - Ressources nécessaires.....	70
Introduction.....	70
4.2.1 - Main-d'oeuvre et mécanisation.....	72
4.2.2 - Matériaux.....	76
4.2.3 - Outillage.....	76
4.2.4 - Savoir-faire.....	77
4.2.5 - Conclusions sur l'utilisation des ressources.....	78
4.3 - Coûts et bénéfices.....	78
4.3.1 - Les coûts des ressources.....	78
4.3.2 - Les coûts des aménagements.....	79
4.3.3 - Les bénéfices financiers.....	81
4.3.4 - Avantages non-financiers.....	81
4.3.5 - Conclusions sur les coûts et bénéfices.....	82
4.4 - Entretien et reproduction.....	82
4.5 - Intensification des systèmes de culture.....	84
4.6 - Aménagement global et gestion des terroirs villageois.....	85
4.7 - Autres contraintes.....	86
4.8 - Résumé des contraintes.....	89
CONCLUSIONS.....	90
BIBLIOGRAPHIE.....	92

liste des annexes

1. Description de deux types de barrages-seuils.
2. Propriétés et utilisation possible des espèces ligneuses des zones sahélienne et soudanienne.

liste des figures

- figure 1 : Les zones agro-climatiques de l'Afrique de l'Ouest
- figure 2 : Coupe schématique du paysage avec unités géo-morphologiques
- figure 3 : Les types et régions de désertification dans les pays du Sahel
- figure 4 : Caractéristiques des types de travail du sol
- figure 5 : Effet de la formation d'une croûte, sous pluie, sur un sol labouré
- figure 6 : Zay
- figure 7 : Demi-lunes
- figure 8 : Diguettes en terre
- figure 9 : Fossés ados
- figure 10 : Cordons de pierres
- figure 11 : Dignes filtrantes
- figure 12 : Coût de transport des pierres par camion et par charrette, en fonction de la distance de transport

LISTE DES ABREVIATIONS

AFVP	Association Française des Volontaires du Progrès
BAER	Bureau d'Aménagement de l'Espace Rural (devenu SAER) (BF)
BIT	Bureau International du Travail
BUNASOL	Bureau National des Sols (BF)
CCE	Commissions des Communautés Européennes
CES	Conservation des Eaux et des Sols
CIEH	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CILSS	Comité Inter-états pour la Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CIRAD	Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (France)
CLD	Comité Local de Développement (niveau Cantonal) (Niger)
CMDT	Compagnie Malienne de Développement des Textiles
CND	Comité National de Développement (Niger)
CRD	Comité Régional de Développement (niveau départemental/de la Préfecture) (Niger)
CRPA	Centre Régional de Promotion Agro-pastorale (ex-ORD) (BF)
CSRD	Comité Sous-Régional de Développement (niveau de la Sous-Préfecture) (Niger)
CTFT	Centre Technique Forestier Tropical du Niger
CVD	Comité Villageois de Développement (Niger)
DAER	Direction de l'Aménagement et de l'Équipement Rural (autrefois Génie Rural) (Niger)
DDA	Direction Départementale de l'Agriculture (Niger)
DGIS	Directoraat Generaal Internationale Samenwerking (Ministère de la Coopération des Pays-Bas)
DPET	Direction Provinciale de l'Environnement et du Tourisme (BF)
DRS	Défense et Restauration du Sol
FAC	Fonds d'Aide et de Coopération (France)
FAO	Food and Agriculture Organisation
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine (50 francs CFA = 1 Franc français, parité fixe)
FDR	Fonds de Développement Rural (devenu FEER) (BF)
FED	Fonds Européen de Développement
FEER	Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural (ex-FDR) (BF)
FIDA	Fonds International de Développement Agricole (Rome)
GERES	Groupeement Européen de Restauration des Eaux et des Sols (BF)
GMV	Groupeement Mutualiste Villageois
GR	Génie Rural (devenu DAER) (Niger)
HIMO	Haute Intensité de Main-d'Oeuvre
IFAD	Internationa Fund for Agricultural Development (Rome)
INERA	Institut National d'Etudes et de Recherche Agronomique (BF)
IPDR	Institut Pratique de Développement Rural (Niger)
IRAT	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (France)
IWACO	Bureau d'Études en Eau et Environnement (Pays-Bas)

ONAHA	Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (Niger)
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ORD	Office Régional de Développement (devenu CRPA) (BF)
ORSTOM	Institut français de recherche scientifique pour le développement (ex - Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer)
PAE	Projet Agro-Ecologie (BF)
PAF	Projet Agro-Foresterie (BF)
PAM	Programme Alimentaire Mondial (FAO)
PATECORE	Projet Aménagement des Terroirs et Conservation des Ressources dans le Plateau Central (BF)
PDRT	Projet de Développement Rural de Tahoua (Niger)
PEDI	Projet Programmation et Exécution du Développement Intégré (BF)
PIK	Projet Intégré Keita (Niger)
PLAE	Projet Lutte Anti-Erosive (CMDT/Mali)
PNLD	Programme National de Lutte contre la Désertification (Niger)
PSN/FIDA	Projet Spécial National / FIDA (Niger)
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
PSPP/HIMO	Projet Sous-Régional pour la Promotion des Programmes à Haute Intensité de Main-d'Oeuvre au Sahel
PUSF	Projet Planification et Utilisation des Sols et des Forêts (Niger)
R/D	Recherche/Développement
SAER	Service d'Aménagement de l'Espace Rural du CRPA (B.F.)
SEDES	Société d'Etudes pour le Développement Economique et Social (France)
SNV	Association Néerlandaise d'Assistance au Développement
SOGETHA	Société Générale des Techniques Hydro-Agricoles (France)
UAW	Université Agronomique Wageningen (Pays Bas)
UNC	voir UNCC
UNCC	Union Nigérienne de Crédit et de Coopération
UNSO	United Nations Sudano-Sahelian Office

RESUME

Les techniques de Conservation des Eaux et du Sol, CES, les plus appliquées sur les terres agricoles dans les pays du Sahel sont décrites et comparées en ce qui concerne :

- leur adaptabilité aux conditions physiques : climat, sol et topographie ;
- leur impact sur les rendements agricoles et sur l'érosion ;
- leurs coûts : matériaux et main-d'oeuvre ;
- les contraintes liées à leur application : savoir-faire, matériels, organisation des chantiers, etc.

Quelques contraintes liées à la mise en place, l'entretien et la reproduction par les paysans des mesures de CES sont abordées d'une façon générale : rôle de l'appui donné par les projets, importance d'une intensification des systèmes de culture, concept de l'aménagement et de la gestion des terroirs villageois.

ABSTRACT

The soil and water conservation devices which are commonly applied in the Sahel countries are described and compared with regard to :

- the climate, soil and topography to which they can be applied;
- their impact on agricultural yields and erosion control;
- their costs : material and labour needed for construction;
- specific bottlenecks for construction : knowhow, tools, organisation, etc.

Bottlenecks for successful application other than these are treated in a more general way : maintenance, project help, agricultural inputs and land management.

Mots clefs : Conservation des eaux et du sol ; Lutte anti-érosive ; Travail du sol ; Agriculture ; Gestion des terroirs ; Pays du Sahel.

INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est d'arriver à une typologie des ouvrages de C.E.S. qui devrait permettre aux agents techniques travaillant sur le terrain de choisir les techniques les mieux adaptées aux conditions locales. A cette fin, un grand nombre d'ouvrages réalisés par différents projets au Burkina Faso et au Niger ont été étudiés sur le terrain, en ce qui concerne leurs dimensions, matériaux, temps et coûts de réalisation, conditions d'implantation, et, si possible, efficacité. Cette étude sur le terrain, réalisée en 1989, a été complétée par une recherche bibliographique concernant tous les pays du Sahel.

Cette étude s'est intéressée uniquement aux techniques de C.E.S. qui sont appliquées sur des champs de culture ou qui servent à la protection de ces champs. De plus, elle se limite aux techniques de conservation de l'eau de pluie ou de lutte contre l'érosion hydrique, et ne concerne pas les ouvrages contre l'érosion éolienne. L'aménagement de grands bas-fonds et la construction de retenues d'eau ne sont pas non plus traités.

En ce qui concerne les techniques de C.E.S. applicables sur des terres de culture, ce rapport donne une présentation assez exhaustive, avec un maximum de données quantitatives, dans la mesure où celles-ci étaient disponibles.

Les différentes régions des pays du Sahel pour lesquelles cette étude est représentative, sont décrites dans le Chapitre 1. Dans le Chapitre 2 sont passées en revue les activités dans le domaine de la C.E.S. qui ont eu lieu dans le passé, et qui sont actuellement mises en oeuvre par différents projets. Puis le Chapitre 3 donne des descriptions détaillées des différentes techniques de C.E.S., qui sont par la suite comparées et évaluées dans le Chapitre 4.

1 - DESCRIPTION DE LA REGION

1.1 - Les zones agroclimatiques

La zone géographique concernée par les études décrites dans cet ouvrage couvre les pays sahéliens suivants : Sénégal, Mauritanie, Burkina Faso, Mali et Niger. Le Cap-Vert est exclu car les conditions naturelles y sont très spécifiques et différentes des autres pays continen-taux mentionnés.

1.1.1 - Pluviométrie

Dans ce document, on considère la zone d'étude dans son concept hydrologique, c'est-à-dire comprise entre les isohyètes 200 mm et 1200 mm; par conséquent elle ne se limite pas strictement au Sahel mais englobe une bonne partie de l'Afrique de l'Ouest. On y distingue cinq zones de pluviométrie (voir Figure 1) :

- zone saharo-sahélienne : moins de 150 mm ;
- zone sahélienne : entre 150 et 400 mm ;
- zone soudano-sahélienne : entre 400 et 600 mm ;
- zone soudanienne : entre 600 et 900 mm ;
- zone soudano-guinéenne : entre 900 et 1200 mm.

N.B. Les pluviométries sont évaluées sur les périodes de 1965 à 1990

Les mouvements et la confrontation de deux masses d'air déterminent la dynamique climatique de l'Afrique de l'Ouest : l'anticyclone du Sahara qui donne naissance à un vent chaud et sec, l'harmattan, et l'anticyclone de Sainte-Hélène qui prend naissance dans le Golfe de Guinée et véhicule un air maritime tiède et très humide de direction Sud-Ouest. Ces deux masses d'air sont séparées par le front intertropical (FIT) qui suit une direction générale Est-Ouest. En janvier il occupe sa position la plus méridionale (au tiers Sud de la Côte d'Ivoire). A partir des mois de février-mars, il remonte lentement vers le Nord pour occuper fin août sa position la plus septentrionale au niveau du 20^{ème} parallèle. A noter que les côtes du Sénégal et de Mauritanie subissent l'influence, très locale, de l'anticyclone des Açores.

Le climat au Nord du 10^{ème} parallèle (zone de l'étude) se caractérise par une unique saison sèche suivie d'une unique saison humide. Le régime des précipitations au cours d'une année dans la zone soudano-sahélienne (située à une latitude moyenne dans la zone d'étude) s'opère selon le calendrier suivant :

- janvier et février : saison très sèche sans aucune précipitation,
- mars : occasionnellement précipitation isolée dite pluie des mangues (inférieure à 20 mm),
- avril : début des premières pluies précédées de tornades sèches
- mai-juin : la saison des pluies commence réellement avec des pluviométries de l'ordre de 40 à 100 mm/mois,
- juillet à septembre : la saison des pluies bat son plein avec des pluviométries de l'ordre de 100 à 200 mm/mois,

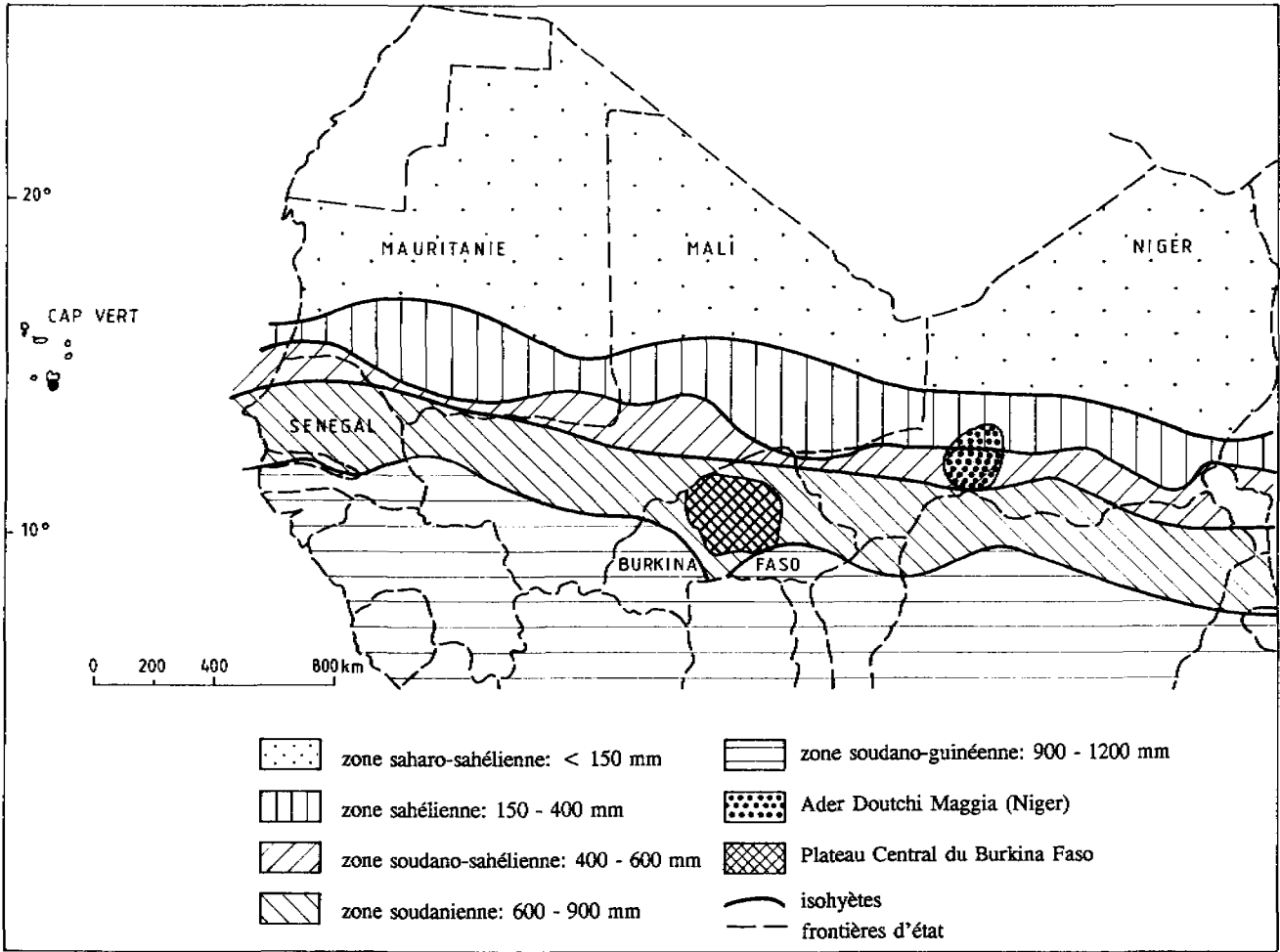


Figure 1: Les zones de pluviométrie des pays du Sahel (isohyètes sur période 1965-1990)

- octobre : rapide raréfaction des pluies. Le FIT redescend vers le Sud,
- novembre-décembre : saison sans précipitation.

Ce calendrier est indicatif. Il est clair que plus on se déplace vers le Nord, plus la saison des pluies est courte et inversement lorsqu'on se déplace vers le Sud.

Les précipitations journalières sont presque toujours violentes (orages). Elles sont très variables d'un endroit à l'autre.

La forte irrégularité interannuelle des précipitations au Sahel se traduit parfois par des périodes de sécheresse dont les effets sur l'environnement et les hommes sont catastrophiques.

1.1.2 - Températures / humidité relative

Les températures sont les plus faibles entre novembre et février, avec d'assez importants écarts entre le jour et la nuit et une humidité relative extrêmement faible. Pendant la deuxième partie de la saison sèche (mars-avril) les températures augmentent graduellement jusqu'à mai-juin où elles atteignent leur maximum. L'humidité ambiante croît également. Elle reste importante pendant toute la saison des pluies. Les averses régulières contribuent à faire chuter la température.

L'évapotranspiration, qui caractérise la demande climatique, est la plus forte entre avril et juin à cause des fortes températures. Elle diminue pendant la saison des pluies et pendant la saison sèche froide (décembre-février).

1.1.3 - Vents

Les caractéristiques du vent sont très voisines pour l'ensemble de la zone sahélienne. L'harmattan de secteur Nord-Est souffle pendant toute la saison sèche. Les vents de saison humide sont plus irréguliers. L'harmattan est à l'origine de l'érosion éolienne qui affecte essentiellement les zones saharo-sahélienne et sahélienne et dont l'influence diminue jusqu'à devenir négligeable plus au Sud.

1.1.4 - Végétation

Dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne, on trouve une végétation naturelle de type savane arbustive et arborée, et également une strate herbacée annuelle. Au Nord, dans la zone sahélo-saharienne, s'étendent des steppes avec quelques arbustes à épineux. Plus au Sud le paysage est une savane arbustive à fourrés denses (brousse tigrée) évoluant vers le Sud en savane arborée, sillonnée par de minces forêts galeries (zone soudanienne).

1.2 - Géomorphologie et sols

1.2.1 - Géologie

L'Afrique de l'Ouest Sahélienne est formée de quatre grands ensembles géologiques :

Le socle précambrien ou craton ouest-africain

Celui-ci est constitué de formations cristallines métamorphiques ou volcano-sédimentaires attribuées au Précambrien inférieur et moyen. Il regroupe :

- des granites et des gneiss,
- des formations plus ou moins métamorphiques à dominante schisteuse et quartzitique.

Il occupe les trois quarts du Burkina Faso et la partie Occidentale du Niger.

Le bassin de Taoudenit

Formations sédimentaires attribuées au Précambrien A (900-1100 millions d'années) et au Cambro-Ordovicien, composées de 3 séries :

série 1 : généralement gréseuse avec cependant des calcaires à stromatolites du Précambrien supérieur ;

série 2 : débute par des tillites auxquelles succèdent des calcaires dolomitiques et des pélites alternant avec des grès ;

série 3 : attribuée à l'Ordovicien, elle est principalement détritique (grès, quartzites).

Dans le domaine sahélien, ce bassin couvre le Sud-Est de la Mauritanie, le Centre et le Sud-Ouest du Mali.

Le bassin du Niger

C'est une vaste cuvette remplie de séries paléozoïques (grès et argile) au Nord et de dépôts secondaires (grès et argilites) et tertiaires (calcaires, marnes, schistes et grès du Continental Terminal) au Sud. Ce bassin inclut l'Est du Mali, la plus grande partie du Niger et le Nord du Nigéria.

Le bassin Sénégal-Mauritanien

Formations sédimentaires marines débutant au Jurassique supérieur et allant jusqu'à l'Eocène supérieur. Elles sont presque totalement recouvertes par le Continental Terminal et les dépôts quaternaires, marins ou continentaux. Le bassin couvre la majeure partie du Sénégal et le Sud-Ouest de la Mauritanie.

1.2.2 - Géomorphologie

Le profil géomorphologique de la figure 2 est typique de la zone d'étude. Il est décrit ci-dessous.

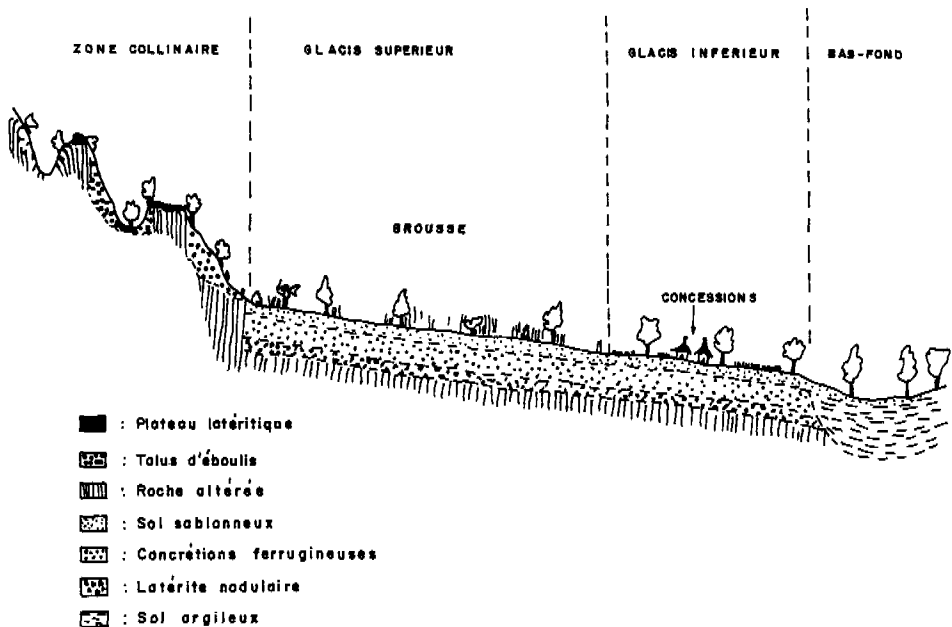
Le plateau

Il est constitué de couches de matériaux indurés et cimentés formant une cuirasse latéritique dénudée au microrelief très accidenté. Ce plateau est pratiquement imperméable.

Les versants

Les versants sont à pente raide et se présentent sous forme d'escarpements entaillés par un réseau très ramifié de petits ravins. Ces versants, également formés en majorité de matériau latéritique, sont soumis à un ruissellement intense.

Figure 2 : profil géomorphologique typique



Le glacis

Le glacis, constitué de matériau sableux, se divise en deux parties :

- glacis supérieur : en contact avec les versants, celui-ci se caractérise par des cônes de déjection. Les eaux s'infiltrent faiblement et se concentrent en de petits chenaux sinueux ;
- glacis inférieur : la partie basse du glacis a une pente nettement plus faible (inférieure à 2%). Les eaux de ruissellement s'y écoulent en nappe. Le glacis se raccorde soit à une plaine alluviale, soit à un bas-fond, soit encore à un kori (ravin) encaissé.

Plaine alluviale / bas-fond

On les distingue par leur taille: la plaine alluviale est nettement plus vaste que le bas-fond. Ce sont des zones planes où viennent s'accumuler les matériaux charriés par les eaux de ruissellement. La topographie peut être marquée par la présence d'un cours d'eau permanent ou temporaire.

Champs dunaires

En zone sahélienne et plus rarement soudano-sahélienne, il arrive qu'on trouve des champs dunaires sous forme de placages de sable éolien sur les versants ou le plateau. Ils modifient quelque peu la nature du ruissellement (augmentation des infiltrations, ruissellement en nappe).

1.2.3 - Les sols

Malgré l'homogénéité relative des conditions climatiques au Sahel, il existe une grande variabilité dans les types de sols. Au niveau du profil géomorphologique décrit ci-dessus, les différents types de sols sont :

- sur le plateau : lithosols, sols minéraux bruts, peu profonds, très pauvres en matière organique, très acides, souvent recouverts d'un lit de cailloux qui les rend impropres à l'agriculture ;
- sur les versants : sols de faible profondeur, très minéralisés, recouverts de débris de roches et de cuirasses. Ils sont pratiquement incultivables ;
- sur le glacis supérieur : on trouve des alfisols (sols à dominante sableuse mais à structure compacte, très durs quand ils sont secs, devenant friables quand ils sont humides), des sols ferrugineux peu lessivés qui sont développés sur des matériaux originels sableux, avec une teneur en argile plus limon inférieure à 10 %, des sols ferrugineux lessivés qui contiennent des horizons d'accumulation de fer et d'argile. Tous ces types de sols ont une faible perméabilité ;
- sur le glacis inférieur : d'ordinaire, on y trouve des sols argilo-limoneux (entre autres sols bruns eutroques), mais également des sols sableux ;
- dans le bas-fond : on y trouve des vertisols, sols profonds et fertiles se caractérisant par une forte capacité de gonflement du matériau constitutif (au moins 35 % d'argile) donnant naissance à une fissuration très marquée. On y trouve également des sols bruns eutroques ; ils ont une structure plus fine et ne subissent pas de phénomène de gonflement. Néanmoins, les sols de bas-fonds sont parfois sableux.

1.3 - L'exploitation des ressources naturelles

1.3.1 - Agriculture et sylvo-pastoralisme

Les terrains exploités par l'homme sont soit agricoles, soit à vocation sylvopastorale. La sylviculture reste une activité secondaire. Sauf dans la partie sahélienne de la zone d'étude, l'agriculture prévaut sur l'élevage.

La culture du mil et du sorgho, céréales traditionnelles d'hivernage, représente l'essentiel de l'activité agricole. La production est presque intégralement autoconsommée. Les cultures de maïs et de niébé sont plus rares. Quelques cultures de rente (oignon, coton, arachide, etc) sont pratiquées en hivernage ou en contresaison sèche grâce à l'irrigation à partir de petits barrages. Les zones les plus fertiles et donc les plus intensément cultivées

sont les bas-fonds et les plaines alluviales. Le mil est cependant fréquemment cultivé sur les sols sableux des glacis, seul ou associé au niébé. Sur le plateau et les versants, les sols sont incultes. L'application d'engrais est très rare et réservée aux cultures irriguées et de rente (coton). Le travail du sol est le plus souvent réalisé à l'aide de la houe traditionnelle (daba), rarement en culture attelée (sauf au Sénégal et au Mali-Sud). Les systèmes de jachère et de rotation entre les cultures qui permettent aux sols de se régénérer sont de moins en moins appliqués à cause de l'augmentation rapide de la pression démographique.

L'élevage (bovins, ovins, caprins et camelins) est sédentaire dans le sud du Sahel où, bien souvent, il est mené en même temps que l'agriculture. L'élevage est nomade et transhumant dans le nord. Dans les deux cas, en année sèche, la capacité de charge des pâturages est insuffisante, ce qui se traduit par des réductions d'effectifs du cheptel, particulièrement sévères en période de sécheresse. Le bétail se nourrit sur des terrains non cultivés ou mis en jachère. Le surpâturage a pour effet de rendre la jachère moins efficace.

Dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne, la dégradation de l'environnement et la baisse de la productivité agricole sous l'effet des phénomènes érosifs sont aggravées par la surexploitation du milieu naturel, résultat d'une pression démographique trop importante par rapport aux ressources existantes. Cette surexploitation se traduit par :

- L'abandon ou la réduction de la jachère et de la rotation des cultures : les sols auparavant mis en jachère pour retrouver de bonnes qualités (structure, fertilité) sont désormais cultivés chaque année, le plus souvent sans rotation de cultures ; cette surexploitation leur fait subir un appauvrissement qui est rarement compensé par l'apport d'éléments fertilisants. Cette situation oblige les paysans à étendre la superficie cultivée à des terres marginales (infertiles, accidentées, aux sols peu profonds) donnant de faibles rendements ; de plus leur exploitation entraîne une dégénérescence accélérée de leurs sols. L'extension des terres cultivées de façon extensive est actuellement le facteur le plus important de la dégradation des terroirs.
- Le surpâturage des terres : la raréfaction des étendues herbeuses et l'augmentation de la densité des troupeaux entraînent le phénomène de surpâturage. Celui-ci est aggravé par le piétinement intense qui l'accompagne et qui peut détruire le couvert végétal et donc favoriser l'érosion ; la surcharge d'un pâturage peut entraîner la disparition des meilleures espèces fourragères remplacées par d'autres souvent sans valeur nutritive,
- Une désarborisation excessive : afin de satisfaire des besoins de plus en plus importants en bois à usage domestique (cuisine, chauffe) ou artisanal et industriel (autour des villes), les coupes d'arbres et d'arbustes ou les éêtages et ébranchages mutilants se font à un rythme trop élevé pour que se reconstituent les réserves. Cela se traduit en définitive par la disparition progressive du couvert arboré qui laisse place à des savanes ou steppes sahéliennes arides et à un sol plus exposé à l'érosion tant hydrique qu'éolienne,
- Les feux de brousse intempestifs : cette pratique jugée utile par les éleveurs et les agriculteurs peut avoir des effets érosifs importants si elle n'est pas appliquée avec précautions ; en effet, après le passage du feu, la couverture du sol n'est plus assurée

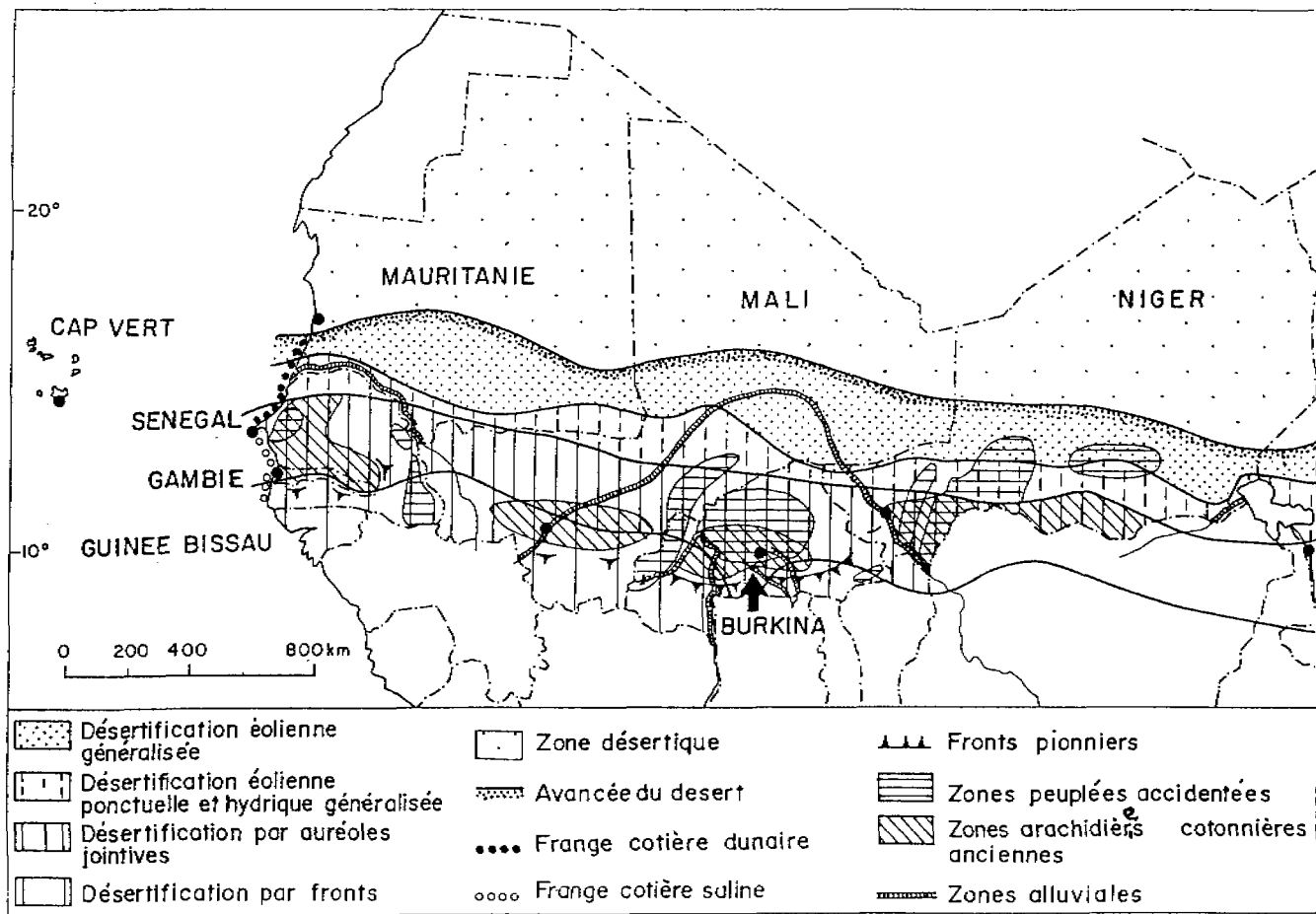


Figure 3: Les types et régions de désertification dans les pays du Sahel (Rochette 1988)

que par des touffes d'herbes peu nombreuses incapables d'arrêter le ruissellement; le sol est donc soumis à la battance. Outre la dénudation, l'échauffement et la perte des matières organiques dégradent la structure du sol,

1.3.2 - Régions particulièrement menacées par la dégradation

Toutes les zones agroclimatiques de la région sahéenne prise dans son sens climatologique sont soumises à des dégradations spécifiques s'inscrivant dans un processus de désertification. L'activité humaine, le ruissellement et l'action du vent sont les principaux facteurs de désertification et ont des effets variables selon les zones agroclimatologiques (voir figure 3).

Zone saharo-sahéenne

L'érosion éolienne se traduit par la mise en mouvement généralisée et ponctuelle des sables et la désertification des zones de relief. Ces phénomènes sont aggravés par l'érosion hydrique et l'élevage. Leurs effets sont :

- la disparition des ressources pastorales et forestières,
- la menace d'assèchement et d'ensablement des oasis et des zones de cultures de décrue,
- la raréfaction et difficultés d'accès à l'eau,
- la migrations vers le Sud : danger de disparition de l'activité humaine,
- la dépendance des hommes vis-à-vis de l'aide alimentaire.

Zone sahéenne

Les causes sont les mêmes que pour la zone saharo-sahéenne. Outre la mise en mouvement généralisée ponctuelle des sables, la désertification générale des aires rocheuses entraîne :

- la dégradation avancée des ressources pastorales et forestières,
- la limitation des ressources en eau et la dégradation des sols avec pour conséquence l'abandon de la culture sèche,
- la concentration de l'agriculture sur les zones basses et alluviales qui sont donc surexploitées,
- l'émigration par manque de ressources, la croissance urbaine, la destructuration sociale.

Zones soudano-sahéenne et soudanienne

L'action érosive de l'eau et du vent est favorisée par le défrichement, le déboisement et les cultures de rente. La désertification se fait par auréoles jointives (voir figure 3). L'eau est perdue par écoulement et évaporation, les sols s'épuisent et perdent leur structure. Les effets sont :

- la diminution de toutes les ressources exploitables : mise en péril de l'autosuffisance alimentaire et énergétique,
- la surexploitation des ressources restantes,
- la déstabilisation des écosystèmes,
- l'émigration, l'urbanisation, la désorganisation des solidarités collectives, familiales et villageoises.

Zone Sud-soudano-guinéenne

Il existe des zones d'installation spontanée de populations venues de régions plus sèches. Ces zones, initialement vierges ou presque, sont délimitées par des "fronts pionniers" (voir figure 3). Le défrichement et le déboisement le long de ces "fronts pionniers" sont les principales causes de la désertification dans cette zone et de la dégradation des sols et des ressources en eau. Les effets sont :

- la déstabilisation des écosystèmes,
- la création de fronts de colonisation agricole (notamment pour les cultures de rente, coton, arachide),
- la déforestation commerciale pour satisfaire les besoins urbains.

Certaines zones, du fait de leurs caractéristiques géographiques, démographiques ou agro-économiques, sont particulièrement sensibles à la désertification :

- la frange saharienne : à proximité immédiate, en bordure du Sahara ; elle matérialise sa progression vers le Sud.
- la frange côtière Sud (Mauritanie, Sénégal, Gambie) : la désertification se traduit par la mise en mouvement des dunes littorales, l'abaissement des nappes phréatiques d'eau douce et la salinisation des nappes.
- les zones à forte densité relative de la population : on peut faire la distinction en deux sous-groupes :

relief contrasté :

- . érosion générale et rapide des sols
- . dégradation totale ou avancée du couvert végétal
- . perte des ressources en eau par écoulement vers l'extérieur (Plateau Central au Burkina Faso, Vallées moyennes des Dallols au Niger)

bassins arachidières et cotonniers anciens (plaines et plateaux) :

- . épuisement et érosion des sols,
- . éclaircissement et vieillissement des parcs arborés.

De telles régions se trouvent au Sénégal (Sine Saloum), au Sud du Mali (San-Tominian), au Burkina Faso (Plateau Central), au Centre-Sud du Niger (Ader Douchi Maggia).

- les zones basses et fluviales : la dégradation s'y caractérise par :

- . la limitation des inondations et la baisse des nappes,
- . la disparition des forêts galeries et des bas-fonds,
- . le recul prononcé des pâturages inondés et des cultures de décrue.

(Moyenne et basse vallée du Sénégal, delta intérieur et vallée du Niger, les trois Voltas, lacs, mares permanentes et temporaires).

- les zones de front pionnier agricole : l'activité agricole s'accompagne de défrichements anarchiques et d'un déboisement excessif (Est du Sénégal, haute et moyenne Casamance, régions de Sikasso et Bougouni au Mali, Sud du Burkina Faso, région de Say-Torodi au Niger).

2 - EXPERIENCES DANS LE DOMAINE DE LA C.E.S.

2.1 - Techniques traditionnelles et modernes de CES

Les techniques de CES s'appliquent aux terres agricoles, aux terres sylvo-pastorales ou aux deux simultanément dans le cas d'aménagements de terroirs.

2.1.1 - Terres agricoles

Dans certaines régions de la zone sahélienne, les populations appliquent d'elles-mêmes des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols sur les terres agricoles. C'est le cas notamment du plateau central au Burkina Faso, de l'Ader Doutchi Maggia au Niger et du pays Dogon au Mali. Dans ces régions, les techniques traditionnelles de CES les plus fréquemment rencontrées sont :

- le paillage : celui-ci consiste à recouvrir les interlignes culturaux d'une couche de matière végétale morte (paille ou mulch) de manière à atténuer l'impact des gouttes de pluie et ainsi à empêcher la déstructuration du sol. Les autres intérêts du paillage sont la diminution de l'évaporation, ce qui permet au terrain de conserver son humidité, et son enrichissement à travers l'activité des termites.
- les bandes végétatives : c'est une technique de lutte antiérosive consistant à créer et à entretenir des bandes de végétation assez dense pour freiner les eaux de ruissellement en provoquant une sédimentation des transports solides éventuels et en favorisant l'infiltration.
- le zay : en zone semi-aride, sur des terrains colmatés en surface, la technique du zay consiste à creuser des trous afin d'y recueillir les eaux de ruissellement. Ces trous sont ensuite partiellement remplis de matière organique avant que l'on y mette les semences de mil ou de sorgho.
- les murettes de pierres alignées : il s'agit de pierres alignées, implantées en carrés de manière à ralentir le ruissellement et à piéger le transport solide.

Toutes ces techniques étaient traditionnellement appliquées sur des champs cultivés plus ou moins en permanence (champs de case) dont l'exploitation satisfaisait les besoins en céréales. Les conséquences de la surexploitation des ressources (décrites en 1.3) ont rendu ces techniques insuffisantes. Il est devenu nécessaire de développer les techniques de CES à une échelle plus importante.

Interventions étatiques dans le domaine de la CES :

Les premières interventions étatiques dans le domaine de la CES ont eu lieu dans les années 1960. On peut à titre d'exemples citer : le projet GERES (Groupement Européen de Restauration des Sols) dans la région de Ouahigouya (sur le Plateau Central) au Burkina Faso, et le programme d'aménagement de l'Ader Doutchi Maggia au Niger. Dans les deux cas les gouvernements ont fait appel à des organismes étrangers (SOGETHA, CTFT) pour l'étude. Ces projets de grande envergure comprenaient l'aménagement de plusieurs dizaines de milliers d'hectares, la construction de centaines (voire de milliers) de km de pistes, fossés, diguettes. Dans le cas du projet GERES, tous les travaux ont été réalisés par

des machines sans aucune participation de la population locale, alors qu'ils ont été pris en charge manuellement par celle-ci dans l'Ader Doutchi Maggia.

Le bilan de ces projets à grande échelle s'est révélé plutôt négatif (alors que des sommes d'argent importantes avaient été investies). L'absence d'entretien et de motivation de la part de la population, due à un manque de sensibilisation, a non seulement considérablement réduit l'efficacité mais dans certains cas, contribué à l'accélération des processus érosifs.

Depuis cette époque, à la lumière des échecs, les techniques de CES/DRS aussi bien que les modalités de leur mise en oeuvre se sont multipliées et développées dans les pays du Sahel. Actuellement les régions bénéficiant des plus grands efforts dans la lutte anti-érosive sont les zones soudanienne et surtout soudano-sahélienne du Niger et du Burkina Faso. C'est là que, d'une part les problèmes de dégradation sont les plus grands, d'autre part que les effets immédiats des mesures de conservation des eaux et des sols améliorent le plus les rendements en années relativement sèches. Ce dernier point explique la motivation des paysans pour ce type de travaux.

Les techniques et ouvrages que l'on y applique sont très variés : le travail du sol (grattage, scarifiage, labour à plat, sous-solage), le zay, les demi-lunes, les diguettes en terre, les fossés ados, les cordons de pierres, les digues filtrantes, le traitement des ravines (voir chapitre 3 pour plus de détails).

2.1.2 - Terres sylvo-pastorales et terroirs

Les mesures de CES concernent surtout les terres agricoles et très peu les zones sylvo-pastorales, compte tenu des priorités des paysans qui s'intéressent surtout à la production agricole. Les terres sylvo-pastorales sont aussi gérées collectivement, ce qui rend leur gestion (et donc leur aménagement) plus difficile.

Dans la lutte contre le ruissellement et l'érosion, il est néanmoins utile de considérer le terroir villageois dans sa globalité, compte tenu de l'influence des zones non-agricoles sur les zones cultivées qui se trouvent généralement en aval des premières. Cependant ce document n'aborde que les techniques de CES appliquées aux terres agricoles.

2.2 - Projets d'exécution

Ce sous-chapitre présente les projets d'exécution (anciens ou actuels) dans le domaine de la CES mis en oeuvre dans la zone d'étude, dont des données ont été exploitées dans le cadre de la présente étude. Une description structurée de ces projets permet de comparer les différentes techniques de CES présentées dans ce document ainsi que les modalités d'application d'un projet à l'autre.

2.2.1 - Anciens projets

A) Projet GERES

Il s'agit d'un grand projet de lutte antiérosive, réalisé dans la région de Ouahigouya (zone soudano-sahélienne du Burkina Faso) par le Groupement Européen de Restauration des Sols (GERES) sur financement du Fonds Européen de Développement. Après les études

préparées par trois organismes français, le projet a été exécuté entre 1962 et 1965 par une organisation néerlandaise (NEDECO).

A l'aide uniquement d'engins mécaniques ont été réalisés :

- 35.000 km de fossés,
- 14 retenues d'eau collinaires en terre compactée,
- 30 ha de plantations d'arbres,
- 190 ha de plantations d'arbres sur des banquettes,
- des semis d'herbe sur 18.000 ha.

D'une manière générale, non seulement les zones cultivées mais des bassins versants entiers étaient aménagés contre le ruissellement et l'érosion.

Le fait que la population devant bénéficier des réalisations n'ait été ni consultée ni impliquée dans le programme, a conduit rapidement à une dégradation (absence d'entretien) qui, dans certains cas, a pu aggraver les phénomènes érosifs. Ce projet s'est donc soldé par un grave échec (Marchall, 1986).

B) Programme d'aménagement de l'Ader Douchi Maggia au Niger

Ce programme a été réalisé par le Génie Rural et la SOGETHA en différentes phases successives, de 1963 à 1972 (dans le cadre d'un schéma régional d'aménagement). Il était basé sur la participation rémunérée de la population locale pour la construction des ouvrages suivants :

- terrains de pente faible (3 à 7 %) : fossés ados isohypses revêtus en aval,
- terrains de pente plus forte et caillouteux : murets de pierres sur tranchées.

En 1972, le programme était abandonné pour les raisons suivantes :

- un mauvais choix des périmètres à aménager,
- une préparation insuffisante des villageois associée à un manque de motivation (la seule motivation étant la rémunération),
- l'absence d'entretien et de réparation,
- la non prise en compte du droit foncier traditionnel.

C) Projet de développement rural de Badeguicheri

Ce projet financé par le FED a été réalisé en trois phases successives entre 1972 et 1984. Il ne se limitait pas uniquement à des actions de CES/DRS puisqu'il comprenait des volets agricole, forestier et socio-économique.

Les aménagements de CES/DRS réalisés étaient des fossés ados revêtus et des murets, combinés avec un sous-solage. A l'occasion de la 2^{ème} phase, des arbres ont été plantés et des passages d'eau (koris) corrigés.

En 1984 le projet a été interrompu sur un constat d'échec dont les causes sont :

- le non-traitement de nombreux cours d'eau qui se sont développés au détriment des champs,
- le manque d'entretien de la part des paysans dû à leur faible sensibilisation et formation
- un manque d'appui en technique et en matériel à la fin du projet.

2.2.2 - Projets actuels

2.2.2.1 - Projets au Burkina Faso

A) Projet FDR / FEER

Données générales

Nom : Fonds de l'Eau et de l'Equipeement Rural (ex FDR : Fonds de Développement Rural)

Localisation : Plateau Central

Début : 1972

Fin : encore en cours

Organismes financeurs : Banque Mondiale, BAD, FAC, FED, Pays Bas, PNUD

Montant du financement : inconnu

Exécution : FEER sous la tutelle du Ministère de l'Eau

Collaborations : CRPA/SAER

Objectifs et activités

Les objectifs sont multiples. Le principal est la réalisation d'aménagements de CES/DRS (voir ci-dessous)

Réalisations dans le domaine de la CES

De 1972 à 1985, le FEER a aménagé 47.855 hectares (8.000 ha/an entre 1982 et 1985). Les types d'aménagements sont les suivants :

- diguettes en terre et, plus récemment, en pierres,
- digues filtrantes avec déversoirs en gabions,
- plantation d'arbres le long de diguettes.

Modalités d'intervention

A la suite de réunions de sensibilisation et de visites d'aménagements déjà réalisés, les groupements villageois et le CRPA choisissent le type de réalisations approprié. La base d'implantation est prise en charge par le CRPA. Les travaux sont exécutés collectivement sur des superficies d'au moins 20 hectares. Le petit matériel et un camion pour le transport des matériaux sont mis gratuitement à la disposition des paysans. Chaque année, un stage de 3 jours permet la formation de 150 agents d'encadrement.

B) Projet PAF

Données générales

Nom : Projet Agro Forestier

Localisation : province du Yatenga

Début : 1979

Fin : encore en cours actuellement

Organisme financeur : OXFAM, Grande Bretagne

Montant du financement : 160 millions F CFA entre 1985 et 1990 Exécution : OXFAM

Collaborations : Ministère de l'Environnement et du Tourisme ; CRPA/Service Provincial de l'Elevage.

Objectifs et activités

Auto-promotion paysanne en vue d'une auto-suffisance alimentaire dont les principaux volets sont :

- la formation des paysans et agents à diverses techniques de CES/DRS et d'accompagnement (agroforesterie, végétalisation, fumure organique),
- l'organisation de comités pour l'exécution des travaux,
- la gestion du matériel.

Réalisations dans le domaine de la CES

Entre 1983 et 1989, 8.000 hectares ont été aménagés sous la forme de diguettes en pierres et de plantations d'espèces locales. La restauration de cette superficie a été soutenue par près de 5.000 paysans formés dans 406 villages.

Modalités d'intervention

Après des actions de sensibilisation consistant, entre autres, en des visites inter-groupements, on responsabilise les paysans par la création de comités d'aménagement chargés de l'organisation des travaux. Ceux-ci sont effectués par la collectivité successivement sur l'ensemble des parcelles en échange de céréales de la part des propriétaires. Un camion est mis à la disposition des travailleurs mais ces derniers doivent nourrir le chauffeur. Des carences en céréales ont contraint le projet à introduire des stocks de roulement (Cathwell Burkina).

Depuis 1990, le projet se trouve dans une phase d'intensification des activités dans un certain nombre de villages. L'approche intensive vise surtout l'intégration des volets agriculture (intensification de l'agriculture avec travaux de CES et fumure organique), agroforesterie et élevage (stabulation des animaux). Des responsables villageois sont formés dans ces domaines.

C) Projet PAE

Données générales

Nom : Projet Agro Ecologie

Localisation : Provinces du Yatenga et du Soum

Début : 1981

Fin : programme en cours

Organisme financeur : Deutsche Welthunger (ONG allemande)

Montant du financement : 30 millions F CFA par an

Exécution : Service des Volontaires Allemands (Deutsche Entwicklung Dienst)

Collaborations : CRPA, SAER

Objectifs et activités

Assurer la survie des paysans par l'application de mesures de conservation des terres arables. Dans ce cadre, des activités de formation d'encadreurs de groupements, l'apprentissage et la vulgarisation de techniques de CES et d'amélioration de l'agriculture et de l'élevage sont entreprises.

Réalisations dans le domaine de la CES

Pendant la campagne 1981-1992 :

- 2 211 hectares ont été aménagés en diguettes dans le Yatenga (80% en pierre, 20% en terre),
- 13 digues filtrantes ont été construites,
- 12 800 arbres ont été plantés,
- 100 fosses fumières ont été réalisées.

De plus, le PAE exploite un site d'essai pour des démonstrations et la formation d'encadreurs et d'animateurs.

Modalités d'intervention

Dans un premier temps, sensibilisation aux problèmes de dégradation de l'environnement et à l'utilité des méthodes de CES/DRS (visites inter-villageoises, démonstration sur site d'essai). Ensuite, concertation avec les villageois pour le choix des mesures et le soutien nécessaire. Les travaux collectifs sont exécutés à l'aide de pelles et de barres à mine prêtées par le Projet. Pour le transport des matériaux, la location d'un camion est payante, ce qui a pour avantage de rendre son utilisation plus efficace.

D) Projet R/D

Données générales

Nom : Projet Recherche / Développement

Localisation : province du Yatenga (12 villages concernés)

Début : 1983

Fin : 1992

Organisme financeur : FAC (coopération française)

Montant du financement : inconnu

Exécution : cellule R / D dans le cadre du CRPA

Collaborations : CIRAD, INERA

Objectifs et activités

- caractériser les systèmes agraires et le milieu naturel et humain du Yatenga,
- mettre au point des techniques adaptées aux conditions agroécologiques,
- mener des actions-recherches en matière de gestion de terroirs et de conseils en gestion aux producteurs (dont, en particulier des techniques de CES et de végétalisation).

Réalisations dans le domaine de la CES

Les terroirs villageois ont bénéficié des mesures suivantes :

- plantations d'arbres le long de diguettes,
- réalisation de parcelles de reboisement,
- bandes de restauration pastorale et demi-lunes,
- construction de compostières,
- amélioration des pâturages par enherbement,
- mise en défens pour une durée de 2 ans.

Modalités d'intervention

Par des réunions et des enquêtes, le Projet parvient à cibler les aménagements convenant à la situation de chaque village. Les paysans sont responsabilisés en signant un contrat collectif pour l'exécution des travaux. Ceux-ci se font par petits groupes de quartiers dans un souci d'efficacité. Le petit matériel et un camion sont mis gratuitement à la disposition des paysans. La technique des cordons pierreux est la plus prisée par les paysans.

E) Projet PEDI

Données générales

Nom : Projet de Programmation et Exécution du Développement Intégré

Localisation : 146 villages de la province du Sanmatenga

Début : 1982

Fin : en cours

Organisme financeur : Gouvernement Néerlandais

Montant du financement : 510 millions F CFA par an, dont une partie pour des actions de CES

Exécution : DGIS et SNV (Pays Bas)

Collaborations : CRPA/SAER, DPET

Objectifs et activités

Les objectifs s'inscrivent dans les orientations nationales et régionales exprimées dans le plan quinquennal de développement populaire. Ce sont :

- une recherche sur la pluviométrie et la nappe phréatique et sur les aspects techniques et socio-culturels des aménagements anti-érosifs,
- la sensibilisation et la formation des agents et des villageois pour les activités suivantes :
 - . aménagements de CES,
 - . plantations,
 - . construction d'étables, de fosses fumières, de banques céréalières,
 - . réfection des pistes,
 - . création de retenues d'eau.

Réalisations dans le domaine de la CES

Les principales réalisations sont des cordons pierreux (700 ha aménagés pendant les années 1987 et 1988), le traitement des ravines ainsi que des digues filtrantes (54 ha traités pendant la même période).

Modalités d'intervention

Après une phase de sensibilisation et de consultation, les paysans choisissent le type d'aménagement qu'ils souhaitent. Ils bénéficient d'un soutien technique de la part du SAER pour l'implantation des traitements de ravines mais tracent eux-mêmes les courbes de niveau pour les cordons de pierres. Un lot de petit matériel et un camion sont mis gratuitement à la disposition des paysans.

F) Projet PATECORE / Plateau Central

Données générales

Nom : Projet d'Aménagement des Terroirs et Conservation des Ressources sur le Plateau Central

Localisation : principalement les provinces du Bam et du Passoré, mais aussi celles du Sanmatenga et d'Oubritenga

Début : 1988

Fin : vers 1999

Organisme financeur : Ministère de la Coopération Allemande

Montant du financement : 700 millions F CFA pour les 3 premières années

Exécution : GTZ (Office Allemand de Coopération Technique)

Collaborations : tous les services techniques, ONG et groupements villageois de la province du Bam.

Objectifs et activités

- renforcement de la capacité d'auto-assistance paysanne,
- amélioration de la situation socio-économique des femmes,
- lutte anti-érosive et amélioration de la valorisation des terres,
- recherches sur l'impact des techniques de CES/DRS sur la production agricole et la situation socio-économique.

Réalisations dans le domaine de la CES

Les principales réalisations de CES du PATECORE sont des digues filtrantes et des cordons de pierres, des plantations d'arbres et le traitement des ravines.

Modalités d'intervention

Le Projet examine les demandes écrites des villageois désirant bénéficier d'aménagements de CES, puis organise des réunions à l'issue desquelles on détermine le type de travaux à réaliser. Ceux-ci sont réalisés entièrement par la population sous la direction d'agents villageois formés par le Projet (agro-formateurs). Des camions de transport et du petit matériel sont mis gratuitement à la disposition des paysans.

G) Projet RISSIAM (AFVP)

Données générales

Nom : Projet Dignes Filtrantes de la Région de Rissiam Localisation : région de Rissiam (province du Bam)

Début : octobre 1986

Fin : 1992

Organisme financeur : Coopération Française

Montant du financement : 63 millions F CFA en 3 ans

Exécution : AFVP

Collaborations : projet PATECORE ; CRPA.

Objectifs et activités

L'objectif global est l'auto-promotion villageoise pour l'amélioration des ressources en eau et en nourriture par la construction en 3 ans de 300 digues filtrantes servant à la mise en culture d'hivernage de 300 hectares (sorgho, maïs, riz). Depuis 1987, des cordons de pierres sont également réalisés. Dans ce cadre, les activités mises en oeuvre sont :

- une sensibilisation dans les villages,
- la création de Conseils d'Administration pour la construction des digues,
- la formation d'animateurs et de formateurs villageois,
- une assistance à l'implantation des ouvrages.

Réalisations dans le domaine de la CES

Au cours des deux premières années (86-87), 145 digues ont été construites.

Modalités d'intervention

Les villages désirant bénéficier d'une digue filtrante doivent payer un droit d'inscription (2000 FCFA) et formuler une demande écrite. Après des réunions d'information et de sensibilisation sur les digues filtrantes, un Conseil d'Administration est formé. Il est chargé,

entre autres, de récolter des cotisations en nature (mil, sorgho) servant à payer une partie (50%) de la location d'un camion et de brouettes. Le reste du matériel est prêté gratuitement.

2.2.2.2 - Projets au Niger

A) Programme d'aménagement Nord-Ader

Données générales

Nom : Programme d'aménagement Nord-Ader

Localisation : région de Tahoua

Début : 1976

Fin : 2004 (arrêt du financement suisse)

Organismes financeurs : Coopération Suisse, Swissaid

Montant du financement : 70 millions F CFA par an entre 1974 et 1989

Exécution : Swissaid, DAER

Collaborations : -

Objectifs et activités

Opérations générales de développement dans le cadre du terroir villageois : fonçage de puits, coopératives, artisanat, santé, reboisement, aménagements de CES.

Réalisations dans le domaine de la CES

Les aménagements réalisés sont des demi-lunes, retenues d'eau, seuils, murets de pierres sèches, murets en gabions. A la fin août 1988, au total 400 hectares de glacis avaient été aménagés par la technique des demi-lunes, dont :

- 70 pour reboisement,
- 170 pour cultures,
- 160 pour cultures et reboisement (mixte).

Une superficie de quelques milliers d'hectares de terres de bas-fonds bénéficie de la protection des barrages-seuils qui ont été construits.

Modalités d'intervention

Une activité importante est la sensibilisation et la formation des groupements villageois y inclus des formations pour l'organisation de ces groupements.

Les travaux collectifs, tels que la construction des barrages-seuils, sont rémunérés par des vivres PAM. La construction des demi-lunes destinées à l'agriculture n'est plus rémunérée de cette façon depuis 1988. On considère que l'attribution des terres récupérées à ceux qui ont construit les demi-lunes doit suffisamment motiver les paysans concernés et garantir l'entretien de ces dispositifs par ces derniers.

B) Projet PDRT

Données générales

Nom : Projet de Développement Rural de Tahoua

Localisation : région de l'Ader Doutchi-Maggia et plus précisément l'arrondissement de Tahoua ces dernières années

Début : 1981

Fin : 1991

Organismes financeurs : République Fédérale d'Allemagne (92 %), République du Niger (8 %)

Montant du financement :

- phase I : 350 millions F CFA annuels
- phase II : 500 millions F CFA annuels

Exécution : Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ), DAER

Collaborations : -

Objectifs et activités

Garantir à long terme la production de denrées alimentaires par :

- l'amélioration de la productivité agricole par la mise en oeuvre de nouvelles techniques de cultures simples et rentables,
- la stabilisation de l'équilibre écologique de la région,
- la promotion de l'initiative des paysans par un soutien aux groupes d'auto-assistance.

Pour cela, les activités menées sont très diverses : fonçage de puits, introduction de foyers améliorés, ravitaillement, actions de formation et de sensibilisation, aménagements de CES, etc...

Réalisations dans le domaine de la CES

Traitement des koris par gabions et épis, reboisement, fossés ados, digues filtrantes, demi-lunes, tranchées, sous-solage.

Modalités d'intervention

Le projet a commencé par une phase pilote (1981-1983) au cours de laquelle des tests ont été réalisés dans tout l'Ader Doutchi- Maggia. Ont suivi 2 phases d'application.

C) Projet PIK

Données générales

Nom : Projet Intégré Keita

Localisation : arrondissement de Keita (Ader Doutchi-Maggia)

Début : 1984

Fin : inconnue

Organismes financeurs : Coopération Italienne, FAO, Banque Mondiale

Montant du financement : 3.000 millions F CFA annuels

Exécution : PIK, DAER

Collaborations : -

Objectifs et activités

Les principaux objectifs sont :

- promouvoir la production agricole en vue de l'autosuffisance alimentaire,
- conserver les ressources en eau et en sol,
- renforcer les institutions paysannes au niveau des villages.

Ceci se traduit par des actions dans différents domaines tels que le génie rural, l'élevage, la santé, la commercialisation, etc...

Réalisations dans le domaine de la CES

A la date d'août 1988, les superficies traitées étaient les suivantes :

- récupération des terres par des fossés ados : 4.066 ha
- seuils sur koris : 137 (7.096 m³)

- barrages d'écrêtage en gabions : 4 (10.196 m³)
- tranchées de reboisement : 421.000 (1.000 ha)
- brise-vents sols dunaires : 2586 ha (431 km)
- brise-vents vallées : 1035 ha
- fixation de dunes mouvantes : 571 ha

Modalités d'intervention

Tous les travaux manuels exécutés par la population locale sont rémunérés par des vivres PAM. De plus, les terrains agricoles récupérés sont attribués aux gens qui ont participé à la réalisation des fossés. Le choix des terrains à traiter est fait par le projet, en fonction de critères physiques (traitement de sous-terroirs entiers) et socio-économiques (besoins en terres des villages).

Avant le démarrage des travaux, des équipes de travail sont formées au niveau villageois et les chefs d'équipe reçoivent une formation. Pendant l'exécution des travaux, un encadreur spécialisé conseille les villageois sur les techniques agricoles à pratiquer par la suite : billonnage, utilisation d'engrais, etc. Ensuite, les paysans peuvent bénéficier de crédits pour l'achat d'équipements (boeufs et charrue) et d'intrants lors des premières années de mise en culture des nouvelles terres.

Le projet répète lui-même le sous-solage les trois premières années après la réalisation des banquettes. Ensuite, les attelages de boeufs, gérés par des coopératives de paysans, doivent prendre la relève pour assurer ce travail.

2.2.2.3 - Projets au Mali

A. Projet Lutte Anti-Erosive (PLAE)

Données générales

Nom : Projet Lutte Anti-Erosive de la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT)

Localisation : Mali-Sud (5 régions CMDT)

Début : 1986

Fin : -

Organismes financeurs : Coopération Néerlandaise, CMDT

Montant du financement : environ 200 millions F CFA par an

Exécution : KIT (Institut Royal des Régions Tropicales, Pays Bas) ; CMDT

Collaborations : Projet Aménagement des Terroirs Villageois (PATV Fana), Projets Agro-Ecologiques (PAE Bla et PAE Tominian).

Objectifs et activités

L'objectif principal est d'introduire dans un nombre croissant de villages, en zone Mali-Sud, un programme de conservation des sols, de maintien et d'amélioration de la fertilité des sols. Cela se fait à travers la formation des cadres et de l'encadrement de base CMDT, qui sont responsables de l'approche et de l'appui aux paysans.

L'approche des paysans se fait à travers des sessions de sensibilisation au village, des visites inter-paysannes, la formation d'une équipe technique villageoise de 5 à 6 personnes, des sessions de diapositives au village, et d'une réunion annuelle de programmation des travaux collectifs de lutte anti-érosive, accompagnée d'une prospection des sous-terroirs à traiter, et de la confection du plan d'aménagement pour l'année suivante.

Réalisations dans le domaine de la CES

En avril 1992, plus de 400 villages avaient démarré des activités dans le cadre du programme, ce qui représente 10 % des villages de la zone Mali-Sud.

Les réalisations de la campagne de lutte anti-érosive 1990/91, menée dans 315 villages, comprenaient, entre autres (PLAE, 1992) :

- 200 km de cordons de pierres, réalisés en amont des sous-terroirs cultivés et menacés par des eaux de ruissellement provenant des plateaux.
- 1.150 km de haies vives (en *Euphorbia balsamifera* et *Jatropha curcas*) sur les limites des parcelles cultivées.
- Construction de 2.200 parcs améliorés (stabulation des animaux et production de fumier).
- Plantation de 176.000 arbres.

Modalités d'intervention

Mis à part la mise à disposition d'un niveau à eau pour tracer les courbes de niveau, le projet ne donne aucun autre appui que les sensibilisations, formations et actions de suivi par l'encadrement CMDT, telles que mentionnées ci-dessus.

2.2.2.4 - Principales différences entre les projets

Les principales différences entre les projets d'exécution se situent à quatre niveaux :

1. Approche communautaire ou individuelle

Tous les projets ont une approche communautaire en ce sens qu'ils s'adressent à des villages ou groupements villageois lors des phases de sensibilisation et de formation. C'est au niveau de l'exécution des travaux que l'on trouve des différences :

- a. exécution collective des travaux sur un sous-terroir villageois indiqué par le village ou accepté par ce dernier sur proposition du projet. C'est le cas de la plupart des projets. On distingue ici encore les travaux sur des terrains en amont des champs de culture afin de protéger l'ensemble des champs dans ce sous-terroir (cordons de pierres du Projet PLAE), et les travaux dans des parcelles appartenant à certains individus. En réalité, ce sont souvent des individus influents du village (par exemple le chef du village) qui obtiennent le plus facilement la participation des villageois à de tels travaux sur leurs parcelles. L'avantage technique de cette approche est néanmoins de pouvoir aménager des unités hydrologiques (bassins versants) dans leur totalité, ce qui augmente l'efficacité par rapport aux travaux "dispersés".
- b. exécution individuelle des travaux par des paysans sur leurs propres parcelles. Pour certains projets, cela se produit pour certaines mesures de CES : bandes enherbées, fascines, fosses fumières, etc ; tandis que d'autres sont exécutées collectivement. Le Projet Rissiam laisse aux paysans le choix des modalités pratiques d'organisation pour la construction des digues filtrantes sur leurs parcelles.
- c. exécution des travaux sur des terrains qui sont par la suite attribués aux participants aux travaux. Cela se produit uniquement dans les projets qui procèdent à un remembrement foncier.

2. Respect des droits fonciers ou remembrement des terres

La plupart des projets ne touchent pas au problème des droits d'usage des terrains à traiter. Seuls les projets PIK et Ader-Nord font attribuer des parcelles restaurées par des mesures de CES (respectivement fossés ados et demi-lunes) à des paysans qui ont participé aux travaux d'aménagement. Ceci constitue une source de motivation pour les travailleurs, mais provoque souvent des tensions avec les propriétaires traditionnels de ces terrains. Par contre, là où l'on ne touche pas au problème foncier, un certain nombre de paysans n'ayant pas de droit d'usage permanent sur une parcelle ne se sentent pas motivés pour procéder à des travaux d'aménagement, ou n'obtiennent pas l'autorisation du propriétaire pour le faire.

3. Degré d'assistance/rémunération

Cet aspect diffère beaucoup selon les projets. Certains projets fournissent seulement une assistance technique sous forme de formation et de suivi (projet PLAE), d'autres y ajoutent la mise à disposition gratuite des moyens de travail, comme les moyens de transport (presque tous les projets au Burkina Faso et au Niger), tandis que certains autres (notamment ceux au Niger) y ajoutent encore une rémunération des travailleurs sous forme de vivres PAM (food-for-work). Le degré d'assistance ne dépend pas seulement des techniques proposées mais également des habitudes locales, ce qui se traduit par la quasi-obligation pour un projet de suivre d'autres projets opérant dans la même région et offrant des conditions plus favorables.

4. Choix des techniques

Le choix des techniques proposées dépend non seulement des exigences physiques des terrains à traiter, mais aussi des moyens disponibles et mis à la disposition des paysans. Il est lié aux conditions offertes par les projets, comme celles décrites ci-dessus. Dans le chapitre suivant, les différentes techniques sont décrites ainsi que les conditions physiques dans lesquelles elles peuvent être appliquées. Dans le chapitre 4, on reviendra sur les autres éléments déterminant leur sélection dans un programme d'aménagement de CES.

2.3 - Projets de recherche

Dans les pays sahéliens, des recherches sont menées dans le domaine de la CES. Leur but est de :

- mieux connaître les phénomènes de dégradation des sols et du ruissellement,
- mesurer l'impact des différents types d'aménagements de CES et les perfectionner,
- déterminer, en fonction de différents facteurs (techniques ou socio-économiques), les aménagements les plus adaptés, et leurs normes d'application.

Compte tenu du fait que dans la plupart des cas, le système de suivi-évaluation des projets d'exécution ne permet pas de connaître l'impact réel des aménagements, on est contraint d'avoir recours aux résultats de différents projets de recherche, bien que ceux-ci ne se rapprochent pas toujours de la réalité paysanne. Les projets de recherche dont les données ont été exploitées dans le cadre de cette étude, peuvent être regroupés en quatre catégories :

1. Les recherches sur micro-parcelles dans des stations de recherche. Dans cette catégorie se trouvent les recherches faites par l'ORSTOM et le CTFT en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso sur des parcelles "Wischmeijer", ayant pour objectif de mesurer le ruissellement et l'érosion des différents types de sols sous différents traitements et cultures. Au Burkina Faso, il s'agit des sites de recherche de Gonsé (ORSTOM/CTFT) et de Saria (ORSTOM/IRAT/CIEH) (Roose, 1984). Dans la même catégorie se trouvent les recherches exécutées dans plusieurs stations de recherche au Burkina Faso, dans le cadre du programme de recherche INERA/CIRAD intitulé "Economie de l'eau". Elles avaient pour objectif de mesurer les effets des différents types de travail du sol sur le ruissellement, l'érosion et les rendements des cultures de mil, sorgho et maïs (Nicou et al. 1987).

2. Les recherches sur parcelles de plus grande taille, ressemblant à des parcelles de paysans, mais dont les conditions de culture sont déterminées par les chercheurs eux-mêmes. Dans cette catégorie se retrouvent les recherches exécutées par le CTFT à Allokoto, Niger entre 1966 et 1971 (Delwaulle, 1973), à Gampéla, Burkina Faso entre 1967 et 1972 (CTFT, 1973) et à Linoghin, Burkina Faso entre 1973 et 1978. Une partie des recherches exécutées par l'ORSTOM à Bidi, Burkina Faso, fait également partie de cette catégorie (Lamachère et Serpentie, 1988). Ces recherches avaient pour objectif de mesurer le ruissellement, l'érosion et les rendements agricoles sur des parcelles cultivées de manière "traditionnelle" et des parcelles traitées de différentes façons avec des mesures de CES ; à Allokoto : travail du sol, murets de pierres, lignes d'*Andropogon gayanus*, diguettes en terre ; à Gampéla : diguettes en terre, travail du sol ; à Linoghin : travail du sol ; à Bidi : travail du sol, cordons de pierres, effet d'impluvium.

3. Les recherches en milieu paysan. Dans cette catégorie se trouvent une deuxième partie du projet ORSTOM à Bidi, Burkina Faso, ainsi qu'un projet de recherche exécuté par le CIEH et l'UAW à Namsiguia, Burkina Faso, et un projet de recherche exécuté par le CIEH, l'AFVP et l'UAW à Rissiam, Burkina Faso.
A Namsiguia, il s'agit de la comparaison de deux bassins versants de 40 ha environ, dont un tiers couvert par des champs de culture. L'un a été aménagé par des cordons de pierres et des digues filtrantes, l'autre n'a pas été aménagé. Des dispositifs de mesure permettent de comparer le ruissellement et les transports solides au niveau d'un exutoire en aval des bassins versant, et les cultures des paysans sont suivies par endroits, en incluant le suivi de l'humidité des sols.
A Rissiam, il s'agit de l'évaluation du fonctionnement des digues filtrantes. Le fonctionnement hydraulique ainsi que l'impact sur les rendements agricoles ont été étudiés sur cinq sites de digues filtrantes et sur sites sans digues en 1986, 1987 et 1988 (Vlaar et Wesselink, 1990). En même temps, une étude socio-économique a été menée pour étudier les aspects liés à la participation paysanne lors de la construction et de l'entretien de ces dispositifs (Brasser et Vlaar, 1990).

Tableau 2.3.1 : *Quelques caractéristiques des sites mentionnés dans les catégories 2 et 3*

Site	Pluviométrie moyenne/an (mm)	Pente moyenne du terrain (%)	Type de sol
Allokoto (CTFT)	440	3,0	argileux
Gampéla (CTFT)	750	0,8	limoneux
Linoghin (CTFT)	720	1,0	argileux
Bidi (ORSTOM)	430	2,5	sableux
Namsiguia (CIEH)	550	3,3	sableux
Rissiam (CIEH)	600	divers	limoneux

4. Les recherches portant sur des bassins versants entiers, d'une taille dépassant les 100 ha. Il y a eu plusieurs études de bassins versants "représentatifs" en Afrique de l'Ouest, exécutées entre autres par l'ORSTOM, et s'intéressant aux aspects hydrologiques. Comme le présent document s'intéresse surtout à l'impact agronomique des mesures de CES, cette catégorie de recherche n'est pas présentée ici.

3 - DESCRIPTION DES TECHNIQUES DE C.E.S.

3.1. Le travail du sol

3.1.1. Généralités

Le travail du sol a comme buts :

- d'améliorer la structure du sol (et la conservation de celui-ci) pour obtenir ainsi un meilleur enracinement et une meilleure absorption des éléments nutritifs par les plantes ;
- de combattre les mauvaises herbes ;
- de conserver les eaux et le sol.

Dans la conservation des eaux et du sol, le travail du sol peut jouer plusieurs rôles :

1. En cas de conservation des eaux il s'agit de limiter le plus possible les pertes en eau. Ce qui signifie :

une infiltration maximale

- faire pénétrer, autant que possible, l'eau dans le sol à l'endroit où elle tombe,
- au cas où ceci ne serait pas possible, conduire (diriger) l'eau sur la surface de telle façon qu'elle n'y cause pas de dégâts et que cette eau s'infiltrerait finalement à l'endroit souhaité.

une évaporation minimale

- limiter le plus possible les pertes par évaporation de l'eau contenue dans le sol.

2. En cas de conservation du sol, il s'agit de limiter le plus possible les pertes des terres superficielles qui contiennent la plupart des substances organiques et des éléments nutritifs). Les matériaux du sol sont généralement transportés par l'eau ou par le vent.

Dans ce rapport nous étudierons seulement l'influence de l'eau. Il s'agit :

- de l'influence directe de la pluie (des gouttes): le détachement des particules du sol, la formation d'une croûte, etc ;
- de l'influence de la couche d'eau qui se forme à la surface quand la capacité d'infiltration est insuffisante et qui descend en suivant la pente, entraînant ainsi avec elle des particules détachées du sol.

Les mesures de protection envisagent donc :

- l'augmentation de la résistance à la surface de ces particules du sol contre les forces de la pluie et de l'eau qui coule ;
- la diminution des forces par la protection de la surface du sol (mulch) ou par la diminution de la quantité d'eau qui s'écoule (une meilleure infiltration, un plus grand volume pour stocker l'eau).

Le travail du sol signifie en principe le changement des propriétés physiques du sol en surface. C'est en effet une des mesures de conservation des eaux et du sol qui peut être employée par le paysan lui-même. Elle fait partie des mesures prises pour pouvoir cultiver.

Les processus qui sont à l'origine du travail du sol sont les suivants : la compaction, l'ameublissement, la pulvérisation, la coupe et le transport. Chaque outil de travail du sol,

d'une simple daba à un outil sophistiqué pour traction motorisée, provoquera une combinaison de ces processus. Par ces processus la structure du sol change, ce qui a comme effets :

- une terre ameublie donnera une plus grande (meilleure) capacité d'infiltration,
- l'évaporation de cette couche ameublie sera plus élevée ;
- une couche sèche et meuble donnera ensuite une meilleure isolation contre l'évaporation de l'eau provenant de couches plus profondes ;
- les agrégats ou les mottes de terre formés par le travail du sol seront à nouveau détruits (ou réduits, ce qui réduit également la taille des pores) sous l'influence de la pluie ou du piétinement occasionné par l'homme, l'animal ou les véhicules. Cet effet est le plus important à la surface du sol. Nous pouvons distinguer différents processus qui donnent lieu à la formation d'une couche à nouveau compactée ;
 - a. Les agrégats qui se trouvent dans le sol ameubli peuvent se décomposer entièrement sous l'influence de l'eau, ce qui signifie que la couche est autant compactée qu'avant l'ameublissement. Il s'agit surtout ici de l'effet de l'humidification et non de l'énergie des pluies.
 - b. Seuls les agrégats contenus à la surface se décomposent sous l'influence de la pluie et forment ainsi une couche assez épaisse à la surface. Le reste de la couche ameublie reste inchangé.
 - c. Dans le cas d'un sol non ou à peine agrégé, sous l'influence de l'énergie dégagée par les gouttes de pluies, il y a formation d'une croûte assez mince (la force de frappe des gouttes de pluie détache les particules d'argile et de limon des grains de sables plus grands). Cette croûte peut également réduire considérablement l'infiltration dans les sols légers. Ce processus est typique pour les sols sablo-limoneux de la région (Soudano)-Sahélienne.

Une description détaillée des états de surface dans la zone sahéenne est donnée par Casenave et Valentin (1989) et Hoogmoed (1987).

L'influence sur l'infiltration, l'évaporation et le stockage d'eau en surface sont déterminés par le type de travail du sol, la profondeur, l'orientation et l'état du sol au moment où on le travaille (sec/humide, détaché/compacté). Tout sera traité au cours des différents types de travail du sol.

Un aspect important à souligner quant au travail du sol est le contraste qui apparaît souvent entre les exigences demandées à la structure du sol ou aux conditions de surface par la plante d'une part et par la conservation des eaux et du sol d'autre part: pour que les semences germent de façon optimale et se développent en une plante, elles ont besoin d'un lit de semence fin, uniforme, sans résidus de végétation ou de mauvaises herbes à la surface. Ceci donne un bon contact entre les semences et le sol (absorption d'eau). Ce lit de semences ne doit pas être trop instable (par rapport à cette absorption d'eau) mais il ne doit pas non plus être trop dense par rapport au développement et à l'enracinement des plantes. Une levée régulière est obtenue par une surface plate et uniforme. Toutes ces exigences sont toutefois complètement opposées à celles demandées par la conservation des eaux et du sol. Pour celle-ci il faut une surface inégale avec une structure ouverte, de préférence avec une couche protectrice (mulch) composée de résidus de plantes ou d'autres végétaux.

Quelques aspects importants du travail du sol qui n'influencent pas directement le bilan hydrique mais qui ont une relation avec la conservation des eaux et du sol :

a. Améliorer la structure du sol, pour en augmenter ainsi la stabilité. Ceci est seulement réalisable en augmentant le taux de matière organique. La vitesse de décomposition de la matière organique est très élevée par temps humide, ceci à cause de la température élevée et de la grande activité biologique. Le travail du sol peut influencer ce processus de deux manières:

1. par l'enfouissement de nouvelles matières organiques sous forme de mauvaises herbes et de résidus de plantes ;
2. en laissant intacte la couche supérieure du sol. L'effet négatif sur l'infiltration est toutefois minime en cas de porosité normale et d'activité biologique .

b. Utiliser un mulch. La paille et d'autres résidus de végétation forment une bonne protection contre l'influence de la pluie (et moins contre l'influence des eaux de ruissellement). On peut constater que le mulch gêne beaucoup le travail du sol. Le sarclage avec une houe par traction animale est impossible, et le travail manuel est difficile. Le labour est difficile si un outil à dents est utilisé. Une charrue bien réglée peut enfouir les résidus de paille, mais, dans ce cas, l'effet produit par le mulch est perdu.

La quantité de mulch nécessaire pour une bonne protection contre la pluie dépend de la sorte de végétal utilisée. La paille trop épaisse, par exemple du maïs ou du sorgho, est moins efficace que la paille plus courte ou les herbacés. Pour obtenir une bonne protection, une quantité d'au moins 8 tonnes de paille, de mil ou sorgho par ha serait nécessaire (Chopart et al, 1976). Une telle quantité ne peut être fournie par ces cultures. Une bonne récolte de 1.5 tonne (graines) par ha peut fournir environ 4 tonnes de paille. Il faut aussi envisager que, dans la pratique, peu de paille reste sur les champs ; la paille étant utilisée pour la protection (le recouvrement) des toits, pour les clôtures, pour les nattes, etc. La paille qui reste sur les champs est partiellement ou entièrement consommée par le bétail en saison sèche.

c. Combattre les mauvaises herbes. En dehors de la concurrence pour les nutriments du sol, les mauvaises herbes peuvent, par leur évapotranspiration, absorber beaucoup d'eau se trouvant à des profondeurs plus grandes.

Concernant les caractéristiques physiques des sols ouest-africains qui sont importantes pour le travail du sol., on peut distinguer 2 grands groupes de sols dans la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. :

1. Les sols avec structure «active», ce sont les sols qui contiennent plus de 20 % d'argile ; la fraction argileuse doit être du type gonflant.
2. Les sols avec structure «inerte», qui contiennent un taux d'argile assez faible et du type non-gonflant.

Les sols du premier type sont des vertisols, une partie des sols hydromorphes, et des latosols. Le pourcentage de ces sols dans la surface totale des terres agricoles est minime par rapport aux sols «inertes» et ils se trouvent essentiellement dans les bas-fonds. Les sols du type 2 contiennent un taux d'argile assez faible, particulièrement dans les couches superficielles. Cela dépend en grande partie du matériau d'origine) pour les sols ferrugineux. La fraction argileuse de ces sols se compose essentiellement de kaolinite. Les caractéristiques physiques les plus importantes des couches superficielles sont :

1. Une structure très instable (à peine y-a-t-il agrégation).
2. Une grande sensibilité à la compaction et la prise en masse pendant la saison sèche.
3. Une capacité d'infiltration élevée pour un sol qui peut être fortement influencée par la formation d'une croûte.
4. Une capacité de stockage en eau assez faible, et qui peut encore être influencée négativement par la profondeur du sol (distance jusqu'à la latérite) et par la présence de gravions.
5. En général un taux de matières organiques bas, mais qui est très important pour la capacité de rétention des éléments nutritifs par le sol, et pour sa structure.

Influence du travail du sol sur les rendements des cultures.

En cas de jugement et d'évaluation des essais de travail du sol, et en particulier de l'effet du travail du sol sur les rendements des cultures, il est toujours nécessaire de prendre en compte la fertilité du sol. On constate souvent que l'amélioration des techniques de travail du sol (également sans addition d'engrais ou de fumier) a comme résultat l'augmentation des rendements des cultures, ce qui peut être attribué à leur enracinement plus intensif ou plus profond et à une augmentation de la quantité d'humidité disponible.

Une augmentation des rendements des cultures signifie toutefois une plus grande absorption des matières nutritives du sol. Si ces matières nutritives ne sont pas remplacées, le sol va s'appauvrir plus vite (un sol qui, dans la plupart des cas, est déjà très pauvre). Pour obtenir une agriculture durable, il ne faut appliquer au Sahel des méthodes d'amélioration du travail du sol que si on les combine avec un apport en éléments nutritifs sous forme de fumier ou d'engrais.

Si l'on ne le fait pas, après quelques années le sol sera dans un état nutritif encore pire, sa sensibilité à l'érosion sera plus grande et les rendements des cultures pourraient être moins élevés que le niveau d'origine.

Le maintien ou l'amélioration de l'état nutritif du sol n'est pas facile; dans les zones agro-climatiques jusqu'à environ 1000 mm de pluie par an, il y a très peu de paille disponible, seulement quelques tonnes par ha pour le sorgho ou le mil. Pieri (1989) admet que même l'incorporation de 10 tonnes de paille n'est pas suffisante pour augmenter la fertilité des sols sableux.

Même si cette quantité de paille était disponible, il y aurait deux problèmes :

- cette paille est très difficile à enfouir avec des moyens simples (par le travail manuel ou la culture attelée);
- du fait que la proportion C/N est élevée, le sol s'appauvrit en N pendant le processus de décomposition et de ce fait les plantes ne pourront utiliser cette paille.

L'utilisation de la paille peut aussi diminuer l'acidité du sol.

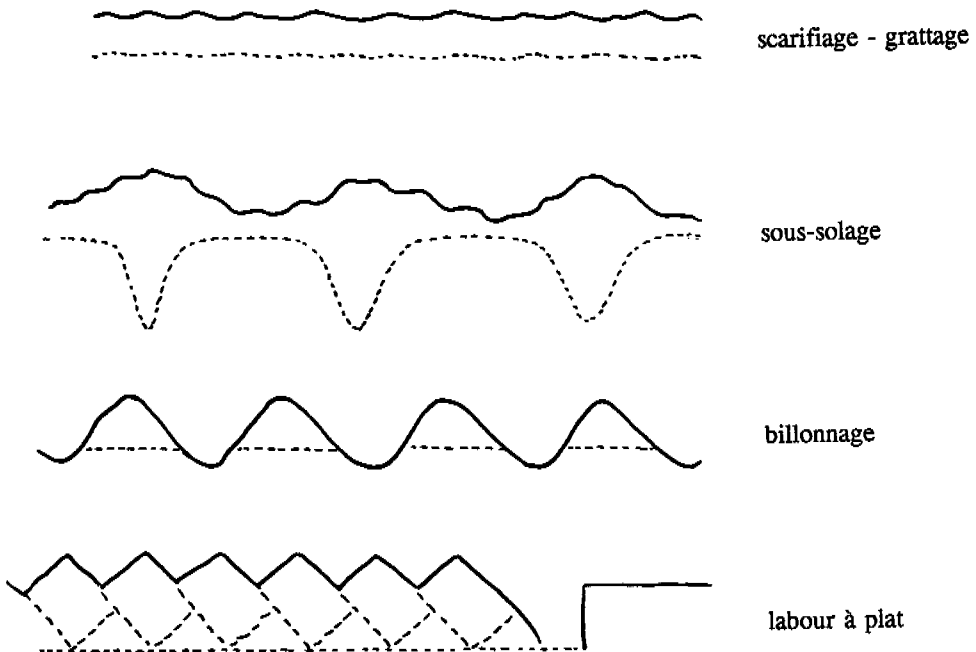
Le fumier est meilleur au point de vue efficacité dans le sol (il y a moins de pertes en N si le fumier est enfoui dans le sol) mais la collecte de ce fumier devient difficile si les animaux ne restent pas au même endroit.

Conclusion:

En appliquant les méthodes améliorées du travail du sol, même au point de vue de la CES, il faut maintenir au même niveau ou améliorer la fertilité du sol. Ceci ne peut se faire

seulement en laissant des matières organiques (résidus de plantes ou fumier) sur les champs, auquel cas l'apport de fumier et l'utilisation d'engrais minéraux est indispensable. Sans cela un meilleur travail du sol ne fait qu'augmenter l'appauvrissement du sol, de sorte que les rendements baissent à terme. En outre, le travail du sol peut augmenter l'érosion s'il est mal appliqué ou appliqué aux mauvais moments.

Figure 4 : Caractéristiques des types de travail du sol



3.1.2 - Scarifiage - grattage

Description

Le scarifiage (ou grattage) est une façon de travailler le sol où on "gratte" la couche superficielle avec un appareil à dents. On l'utilise dans deux buts :

1. Préparer le sol avant le semis, soit avant un labour, soit directement sur un sol non-labouré. Dans ce cas on peut choisir de l'effectuer "en sec" ou "en humide".
2. Contrôler les mauvaises herbes. Cette utilisation est très importante dans le cas où le semis est effectué en lignes (à plat) ou sur billons.

Les différences les plus importantes entre le scarifiage et le labour sont les suivantes :

1. le sol n'est pas retourné,
2. la profondeur est moindre: un maximum de 10 cm pour les appareils à traction animale.

Applicabilité

En sec, on obtient un travail très superficiel et irrégulier. Quand le grattage en sec n'est pas suivi par un labour, l'effet direct sur les rendements est négligeable. Neanmoins il permet parfois de semer plus tôt. L'effet positif sur l'infiltration est de courte durée (une croûte sera très vite reformée).

En humide, le travail est plus profond et consomme moins d'énergie. On trouve un effet positif sur les mauvaises herbes en utilisant des "pattes-d'oies". On doit également attendre que le sol soit mouillé par les premières pluies.

Un sarclage régulier pendant la période de croissance pour éviter le développement des mauvaises herbes, aura comme conséquence favorable que les croûtes formées pendant les pluies seront rompues, ce qui augmentera (temporairement) la capacité d'infiltration.

Un sarclage de fin de cycle peut permettre d'obtenir une couche superficielle ameublie et bien désherbée, qui supprime toute repousse de végétation. Cela peut avoir une application effective sur les sols légers. Nicou (1985) a mesuré ces effets sur les sols à Bambey, Sénégal.

Les avantages du scarifiage sont le gain de temps pour le réaliser et la plus faible force de traction nécessaire par rapport au labour. Les désavantages sont la fréquence nécessaire (à répéter presque après chaque pluie) et la mauvaise performance contre les adventices comparée à celle d'un labour (Nicou, 1977, Nicou et al., 1987). Le risque d'érosion augmente aussi.

Coûts et bénéfices:

Le temps nécessaire pour effectuer le scarifiage dépend du type et des conditions du sol, de l'état des animaux utilisés ; il faut compter environ 12 h par ha sur un sol sablo-limoneux sec et en utilisant une paire de boeufs ; il faut doubler cette durée en cas d'utilisation d'ânes. On peut travailler plus vite en sol humide (moins de résistance), mais souvent on travaille plus profondément et le temps nécessaire ne sera pas moindre. Dans le cas de travail manuel (houe ou daba) le temps nécessaire pour scarifier peut atteindre 30 à 35 h par ha.

On a trouvé que, pour plusieurs zones au Burkina Faso et plusieurs régimes de pluviosité, le scarifiage en sec ne présente pas d'intérêt, tandis que l'effet d'un scarifiage en humide peut donner jusqu'à 23 % d'augmentation des rendements ; pourtant si le scarifiage est suivi par des binages, l'effet sur les rendements est presque le même que celui d'un labour à plat (Nicou et al, 1987).

La situation change quand on combine le scarifiage en sec avec un labour à plat. Le tableau 3.1.1. montre les résultats obtenus au Burkina Faso (Dugue (1987); Yatenga) et au Mali (van Campen & Kebe (1986); Zone cotonnière, DRSPR).

On a pu constater que :

- L'effet additionnel des matières organiques est marginal comparé à celui de l'action du travail du sol ;.

- Un scarifiage en sec avant le labour à plat augmente considérablement les rendements des récoltes (+44% par comparaison avec un labour à plat) ;
- Les rendements sont de 57% plus élevés dans le cas d'une combinaison labour à plat/scarifiage en sec que dans le cas d'un scarifiage en sec/scarifiage en humide.

Tableau 3.1.1. *Effets d'une combinaison du scarifiage, du labour à plat, et d'une fumure organique sur les rendements.*

Culture :	Mil (Yatenga)	Coton(Mali)
Pluviométrie :	525 mm (bonne)	moy. 700-1200 mm
Appl. mat. org. :	10 ton/ha	5 ton/ha
Labour à plat	-	1196 kg/ha
Scarifiage sec + humide	355 kg/ha	-
Scarifiage sec + mat. organique	530 kg/ha	-
+ scarifiage humide	-	-
Scarifiage sec + labour à plat	655 kg/ha	1721 kg/ha
Scarifiage + labour à plat	688 kg/ha	1891 kg/ha
+ mat. organique	-	-

Au Burkina Faso les ORD vulgarisent la houe manga, un outil pour réaliser le scarifiage en culture attelée (avec des ânes ou avec des boeufs). On a estimé que 15% des agriculteurs au Burkina Faso sont équipés pour la culture attelée et que la plupart d'entre eux possèdent une houe manga (De Koning, 1987).

Dancette et Nicou (1974) ont également montré l'utilité des pattes d'oie pour réaliser un labour de fin de cycle (profondeur de 2-3 cm), important notamment si on laisse les pailles sur les champs. Concernant l'effet conservateur de cette technique, ils ont trouvé au Sénégal qu'avec un labour de fin de cycle réalisé avec une patte d'oie, il reste encore 160 mm d'eau dans le sol sur 2,5 m de profondeur juste avant les pluies soit 65% du stock de fin d'hivernage, tandis qu'un sol maintenu nu n'avait plus que 36% du stock d'eau de fin d'hivernage.

3.1.3. - Labour à plat

Description

Le labour à plat pourrait être considéré comme étant le travail du sol conventionnel. En Afrique de l'Ouest son utilisation diffère selon les pays. Au Burkina Faso, il y a une trentaine d'années que la culture attelée a été introduite en milieu paysan (Bosma et al, 1989). On suppose qu'à l'heure actuelle seulement quelques pourcents des paysans sont équipés d'une charrue (De Koning, 1987). Au Sénégal et au Mali, au contraire, les charrues à traction animale sont utilisées depuis beaucoup plus longtemps. Un pourcentage très élevé des superficies sous cultures, notamment les cultures de coton et d'arachide, est labouré.

La charrue à traction animale retourne une bande de sol d'environ 20 cm de largeur et au maximum 15 cm de profondeur sur un angle de 135 degrés. Ainsi, la surface initiale du sol et également tout le matériau qui se trouvait au-dessus, est complètement couverte (voir figure 4). Normalement, le labour à plat est réalisé avant le semis, soit en sec, soit en humide.

Le plus souvent on utilise la traction bovine. Le labour du sol donne donc une surface ondulée couverte par des mottes ou agrégats dont la taille dépend du type du sol et des conditions pendant le travail : un sol sec et dur donnera une surface avec des grandes mottes ; un sol léger et mouillé donnera peu d'agrégats.

Pour mieux comprendre l'effet d'un labour, il faut distinguer ses effets sur le ruissellement, sur l'érosion et sur les rendements des cultures.

En principe, le labour augmente l'infiltration, mais, en même temps, la couche labourée est devenue moins compacte, contenant des agrégats d'une certaine taille ou une certaine gamme de tailles. Cette couche est plus sensible à l'impact des pluies. Cela veut dire que, sous une pluie, la structure (la surface) change, les agrégats sont détruits, la rugosité diminue et la capacité d'infiltration diminue en relation avec le volume ou la durée de la pluie. Si la rugosité et la capacité d'infiltration restent assez élevées pour laisser infiltrer totalement la pluie, il n'y a pas de problèmes. Si, au contraire, la pluie ne peut pas être absorbée, le surplus d'eau commence à ruisseler. Dans ce cas, le sol détaché par le labour est plus sensible à l'érosion. Il faut néanmoins tenir compte de ce que l'amélioration de la capacité à emmagasiner l'eau due à l'augmentation de la porosité, soit par le labour à plat, soit par d'autres techniques, est seulement efficace pour cette couche labourée.

On trouve alors une forte relation avec le type de sol, les conditions de travail et la durée/intensité des pluies. Cela explique que, sur le plan de la lutte contre l'érosion et le ruissellement, les théories et les résultats sont ambigus.

Applicabilité

En principe on peut effectuer un labour à plat sur tous les types de sol. L'effet de CES sur un sol léger sera moindre que sur un sol plus lourd (meilleure agrégation). Sur presque tous les types de sol on ne peut commencer à labourer qu'après avoir reçu assez de pluie pour mouiller et adoucir le sol qui était devenu dense et dur pendant la saison sèche.

Si le sol est très sableux, au point que cela permet le labour à traction animale en sec, ce travail ne sera pas efficace (et même dangereux par l'augmentation du danger d'érosion) parce que les agrégats ne seront pas formés.

Période ouvrable : on peut labourer un sol léger immédiatement après la fin des pluies ; en revanche un sol lourd doit sécher un certain temps (quelques jours) avant qu'il ne devienne labourable. Si on laboure un sol trop humide, sa structure est détruite.

Le labour à plat comme mesure de CES est efficace surtout quand il est exécuté après la première pluie. Pour cela il est indispensable que le paysan possède une charrue et des animaux de trait ; il est bien connu que seule une minorité de paysans possède une charrue. Quand le labour est exécuté par un autre paysan, normalement c'est après la 3^{ème} ou la 4^{ème} pluie, et il est alors trop tard.

Sur les terrains en pente on doit labourer en suivant les courbes de niveau. C'est difficile à faire pour le paysan. Sur les pentes fortes (plus de 10 %) on doit labourer dans le sens des courbes à niveau et en versant le sol vers le haut.

Coûts et bénéfices

Le labour à plat est une opération qui prend beaucoup de temps. Sur un sol léger, il faut 25 à 30 heures par ha avec une paire de boeufs (en bonne forme). Sur un sol lourd, le temps de travail peut augmenter jusqu'à 40 heures. On doit compter que, sous les conditions types du début de l'hivernage (chaleur, animaux en mauvaise condition), les animaux ne peuvent travailler que 5 à 6 heures par jour. En outre, les paysans sont obligés d'attendre le moment où le sol est assez mouillé pour commencer le labour. On perd ainsi un temps très précieux qu'on pourrait utiliser pour semer. Dans les conditions du Niger, on a calculé que pour les sols sableux dans la zone de 500-600 mm de pluie par an, on ne dispose en moyenne pas de plus de 10 jours pour semer, et un maximum de 14 jours pour semer et labourer (Hoogmoed et Klaij, 1988).

On peut supposer, (pourvu qu'il soit bien exécuté !), un effet positif du labour du sol sur l'érosion et le ruissellement. Cet effet est expliqué (par exemple: Nicou, 1977, Nicou et Charreau, 1985) par :

- L'effet brisant du labour sur la croûte. De cette façon l'infiltration est améliorée et un micro-relief est créé, entraînant un ruissellement supprimé et une érosion freinée.
- Une amélioration de la structure du sol : à cause de la porosité augmentée par l'action du labour, l'enracinement est meilleur et plus profond. Cela garantit une meilleure croissance végétale et donc une couverture améliorée du sol.
- Une préparation rapide du sol et donc une couverture accélérée du sol contre la destruction par les pluies.

D'autre part, certains chercheurs doutent du résultat positif du travail du sol. Roose et al. (1974) ont montré qu'après une pluie, l'érosion reprend plus vite dans le cas d'un labour à plat que sur un site témoin, en évaluant la charge solide du ruissellement. Ils l'ont expliqué par la perte de cohésion après un travail du sol.

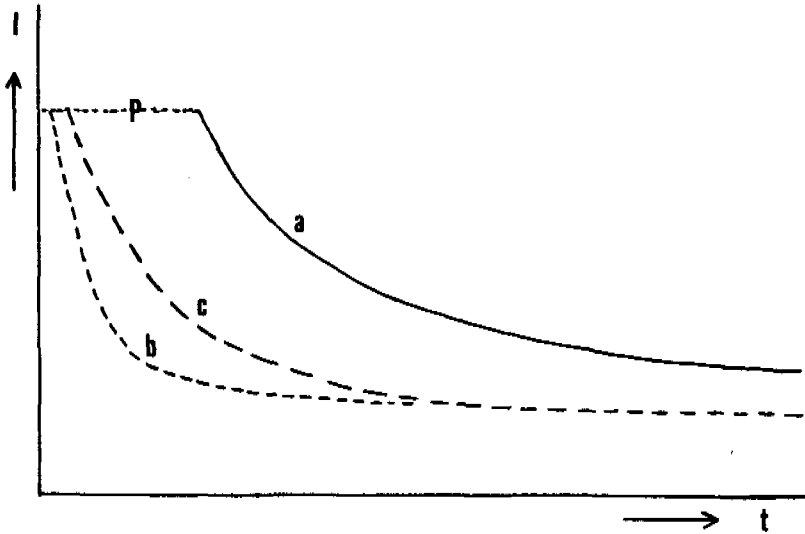
Guillobez et Zougmore (1991) ont trouvé au Burkina Faso (station de Saria) de meilleurs infiltration et stockage de l'eau à la surface du sol dus à une rugosité plus élevée en comparant labour et sarclage. Il apparaît nécessaire de sarcler une ou deux fois pendant l'hivernage afin de casser la croûte formée par les pluies agressives.

Au Mali, Hoogmoed et Stroosnijder (1984) ont mesuré l'effet de la pluie (avec l'aide d'un simulateur de pluie) sur des sols labourés. Une croûte s'est formée après 80 à 100 mm de pluie, diminuant l'infiltration à un niveau de 10 à 15 mm/h. (voir figure 5).

Au contraire, au Niger sur des sols très sableux, on a trouvé une capacité d'infiltration très élevée, même sur les sols non-labourés. Hoogmoed et Klaij (1990) ont démontré que la culture du mil sous système traditionnel (sans labour, semences en poquets dans des trous faits à la daba) ne cause pas de ruissellement. Néanmoins, un petit pourcentage d'argile ou de limon peut suffire pour former une croûte (Hoogmoed, 1987).

Concernant la relation labour - économie de l'eau - augmentation des rendements, l'INERA a effectué des expérimentations dans quelques localités au Burkina Faso (stations expérimentales, parcelles de 128 m, fertilisation suffisante). Les résultats sont montrés dans le tableau 3.1.2. (Nicou et al, 1987).

Figure 5 : Effet de la formation d'une croûte, sous pluie, sur un sol labouré



I: vitesse d'infiltration; t: temps; P: intensité de la pluie

a: diminution d'infiltration sous la première pluie après labour

b: diminution d'infiltration sous la deuxième pluie; 1 jour après a

c: diminution d'infiltration sous la troisième pluie; 7 jours (de séchage) après b

Tableau 3.1.2.: Influence de la localisation, des propriétés physiques du sol et de la pluviométrie sur l'effet d'un labour à plat sur les rendements à Saria.

Localisation & années	Culture	Pluviométrie moyenne mm	Capacité de stockage sol mm/m	Rendements	
				témoin kg/ha	à plat kg/ha(%)
Sabouna(82)	Mil	400	197	1033	1378 + 33%
Ziga(85/86)	Mil	470	46	922	1214 + 32%
Kolbila(84)	Sorgho	450	84	288	401 + 39%
To(84/85/86)	Sorgho	635	109	773	907 + 17%
Saria-Ht(82/83/86)	Sorgho	790	102	1741	2413 + 39%
Saria-bas (82/83/86)	Sorgho	790	79	1728	2118 + 23%
Kassou(84/85)	Sorgho	690	76	584	753 + 29%
Gampela (82/83/86)	Sorgho	705	110	1895	2171 + 15%

Les chiffres montrent que :

- Avec un labour à plat les rendements du mil sont augmentés de 35%, et ceux du sorgho de 40%.
- On a pu constater (à Saria) un effet significatif du labour à plat pour la conservation de l'eau, surtout au début de la saison des cultures.

A la station expérimentale de Saria, l'INERA a mesuré l'érosion, le ruissellement et le rendement des récoltes (tableau 3.1.3). Les conditions du dispositif étaient les suivantes (Nicou et al., 1986, 1987): pluviométrie en 1986 de 940 mm (moyenne 817 mm), parcelles de 96 m², pente 0.8%, sols sableux, sablo-limoneux en profondeur, fertilisation suffisante.

Tableau 3.1.3 : *Effet du labour à plat sur l'érosion, le ruissellement et les rendements à Saria.*

	Témoin	Labour à plat	Diff.
Rendement	1395 kg/ha	2887 kg/ha	+ 107 %
Ruissellement	44%	24%	- 20 %
Erosion	19.63 ton/ha	20.78 ton/ha	+ 6 %

L'effet positif sur les rendements est incontestable. D'après les résultats ci-dessus, cela est provoqué par une meilleure utilisation de l'eau, notamment une infiltration améliorée, et donc un ruissellement diminué de 20%. On a également pu constater une élévation légère du niveau de l'érosion et, en considérant les différences entre les conditions sur les stations expérimentales et le milieu paysan (travail inégal du sol, direction du travail avec une pente légère, inégalités des parcelles et dans les parcelles), on pourrait supposer une aggravation de l'érosion en utilisant le labour à plat.

Les expérimentations en milieu paysan, réalisées au Yatenga, montrent le même effet positif (Dugue, 1985 et 1987). Souvent on a supposé qu'un labour à plat améliore l'enracinement de telle sorte que la croissance de végétation qui en résulte pourrait priver la plante d'eau pendant la phase la plus sensible, c'est-à-dire la floraison, et donc, en fait, diminuer le niveau des rendements.

Un tel effet dépend de la pluviométrie au cours de la saison et du type du sol (capacité de stockage). Par exemple, sur des sols sableux au Niger, Klaij et Hoogmoed (1987) ont trouvé que la croissance et le développement de la biomasse du mil, en 1984 après labour, étaient supérieurs à ceux d'un système conventionnel, mais que, dans une période de sécheresse, le stock d'eau n'était pas suffisant à cause de besoins en eau plus élevés. Pour les sols (peu) plus lourds, ce phénomène ne joue pas un rôle important : Nicou (1977) l'a expliqué par l'amélioration de la capacité de soustraction d'eau du sol, à cause de l'enracinement amélioré.

Quelques autres facteurs et "variations" du labour à plat

Le labour à plat en sec, juste avant les pluies: son avantage principal est la rapidité pour préparer le sol avant semis, mais un labour bien exécuté à plat peut aussi diminuer le nombre des sarco-binages pendant l'hivernage. Au Sénégal, Nicou (1977) a montré un effet nettement positif sur le niveau des rendements, bien qu'ils soient moins élevés que dans le cas d'un labour à plat en humide. Cela s'explique par le fait qu'un labour en sec laisse le sol en grandes mottes, sans augmenter la porosité du sol (Nicou, 1977). En outre, une pulvérisation, toujours en sec, de ces mottes prive le sol de sa grosse structure et pourrait faciliter la formation d'une croûte et ainsi augmenter l'érosion. En considérant le besoin et la disponibilité de la force de traction, le labour en sec posera des problèmes pour les exploitations non-mécanisées. En général, l'introduction de cette méthode est à déconseiller.

Le labour précédé par un sous-solage : comme le sous solage est une méthode lourde (on travaille à une profondeur de 30 cm sans retourner le sol), la traction motorisée est indispensable (voir figure 3.1.4). Herblot (1986) a trouvé qu'un sous-solage au Burkina Faso pendant les années très sèches de 1982-1983, avait un effet additionnel sur les rendements des cultures de sorgho, maïs et arachide, dû à l'amélioration du développement du système racinaire et du profil hydrique. Les rendements ne sont pas assez élevés pour entraîner une utilisation économique du sous-solage. Au contraire, on a trouvé pour les années suivantes (cultures avec labour), un effet résiduel du sous-solage (voir 3.1.4).

Un labour de fin de cycle pourrait avoir deux buts, d'abord enfouir les résidus de la saison passée, mais aussi créer un milieu favorable dans le sol pour conserver l'eau. Le labour de fin de cycle facilite l'enfouissement des résidus de récolte, en améliorant la fertilité du sol. En utilisant l'eau restante dans la couche superficielle du sol après la culture pour travailler le sol, on évite le problème d'enfouissement de ces produits juste avant le semis, quand la décomposition de ces résidus n'est pas encore complète, et pourrait ainsi créer une situation de "faim d'azote". D'ailleurs, un labour de fin de cycle accélère d'abord l'évaporation du sol, mais la rupture rapide des fronts capillaires, crée ensuite un milieu convenable pour conserver l'eau.

Concernant son influence sur l'érosion, on peut en attendre un effet freinant pendant les premières pluies, à cause de la destruction de la croûte, et donc de la création d'un micro-relief. D'autre part, la pulvérisation superficielle peut aussi aboutir à une aggravation du niveau de l'érosion. Il faut ajouter le fait qu'un labour de fin de cycle accélère la préparation du sol, facilite l'enracinement et entraîne alors une croissance rapide et une meilleure couverture du sol que les façons traditionnelles. Normalement, un labour de fin de cycle est réalisé avec une charrue, sa profondeur dépendant de l'humidité du sol.

Il faut remarquer qu'on trouve d'autres aspects liés au labour de fin de cycle :

- Le besoin de force de traction est élevé pour le réaliser. Plus le labour est tardif, plus la force de traction sera importante. Il est possible qu'en milieu paysan cela implique la nécessité d'une récolte plus précoce ;
- D'autre part la condition du bétail est optimale en fin d'hivernage, facilitant tous les travaux du sol ;
- Un labour de fin de cycle facilite l'assainissement du sol et supprime les adventices ;
- Surtout, le labour de fin de cycle accélère la démarche de la préparation du sol, et pourrait diminuer le nombre des sarclo-binages à un ou deux ;
- Nicou (1977) a trouvé un meilleur effet quand on enfouit les résidus de récolte que quand on laisse les résidus sur les champs. D'autre part, en labourant, on crée un sol nu qui aggrave l'érosion ;
- En milieu paysan l'effet du labour de fin de cycle sera réduit, si on ne protège pas les champs traités contre le piétinement du bétail.

3.1.4- Sous-solage

Description

L'objectif du sous-solage est de casser la couche superficielle d'un sol colmaté afin d'améliorer sa capacité d'infiltration à l'eau.

Le sous-solage se limite en réalité à une profondeur d'environ 30 cm (expérience au Niger et au Burkina Faso) et est exécuté à l'aide d'un tracteur ou d'un bulldozer. Bien que cette technique puisse être réalisée à elle seule comme une mesure de CES, elle est le plus souvent exécutée en association avec d'autres aménagements comme, par exemple, la construction de fossés ados. A cause son coût, le sous-solage ne peut être effectué annuellement. L'effet d'un sous-solage réalisé à l'aide des équipements précités doit être entretenu par un labour annuel du sol, ce qui est crucial. Faute de maintenance, l'effet d'une infiltration améliorée par sous-solage disparaît après quelques années, voire même dès la première ou la seconde année, sauf en cas d'installation rapide d'une végétation permanente. Compte tenu des moyens traditionnels, la profondeur d'un sous-solage par traction animale, est en réalité au maximum de 15 cm .

Applicabilité

Le sous-solage est adapté à toutes les zones agro-climatiques et peut être effectué aussi bien sur des terrains relativement plats que sur des terrains en pente (pas trop raides cependant). En ce qui concerne les sols, il convient mieux aux sols limoneux qui sont colmatés ou indurés en surface ; il ne s'applique pas aux sols sableux qui ont une structure instable (pas d'agrégation).

L'avantage d'utiliser une sous-soleuse est que l'on peut travailler le sol à l'état sec, ce qui limite les pertes de temps au début de la saison des pluies.

Le sous-solage comme moyen de travail du sol n'est jamais ou rarement appliqué. Dans la plupart des cas, le tracteur (à roues ou à chenilles) n'est pas disponible. Cette méthode peut être appliquée uniquement par des projets disposant d'un financement extérieur.

Coûts et bénéfices

Le coût d'un sous-solage effectué par bulldozer est, au Niger, de 45.000 FCFA par ha aménagé (Projet Forestier). Sur les bénéfices de cette technique employée seule, les données ne sont pas disponibles, entre autres parce que d'habitude elle est appliquée en combinaison avec des ouvrages de CES.

Herblot (1984) a décrit un essai, effectué à Gampela (Burkina Faso) sur un sol ferrugineux lessivé qui contient 26% d'argile et 13% de limon. Il a obtenu un coût de 20.000 F CFA (niveau des prix de 1984) pour un sous-solage effectué par un tracteur (passages à 1,50 m d'écartement). L'avantage était une augmentation des rendements d'environ 500 kg/ha pour le sorgho, 450 kg/ha pour le maïs et 350 kg/ha pour l'arachide. Il y avait un effet résiduel: pendant les 2 années qui ont suivi le sous-solage, les rendements des cultures ont encore été du même ordre de grandeur (Herblot, 1986). Il s'avère cependant nécessaire que le sous-solage soit suivi par une préparation d'un lit de semences avec une houe ou un outil à dents (à traction animale).

3.1.5 - Buttage et billonnage

Description

Le billonnage concerne la culture des plantes sur des billons. En parlant d'un billonnage, il s'agit de préparer les billons avant le semis. Ils pourraient être réalisés à la main, mais normalement on utilise une charrue (Nicou et al., 1987, Dugué, 1987), vu son travail retournant le sol, ou un billonneur (corps butteur).

Dans le cas d'un buttage, les billons sont buttés en sarclant, c'est-à-dire après l'émergence des plantes semées en lignes sur un lit de semences préparé par la méthode "conventionnelle".

Les dimensions des billons et des buttes dépendent de leur mode de construction. S'ils sont faits par la charrue ou le billonneur, ils ont normalement un écartement entre 60 et 80cm. (Kievit, 1985 ; Dugué, 1986 ; Nicou et al., 1987).

Applicabilité

Le buttage/billonnage est une technique appliquée par la majorité des paysans au Mali et au Sénégal, mais son adoption est probablement limitée aux paysans possédant une charrue.

La culture d'une plante sur des billons présente beaucoup d'avantages :

- On économise en travail et en énergie: si les billons sont faits directement (donc sans labour auparavant), l'on doit seulement travailler environ 50% de la surface ;
- Par la formation de billons, toutes les matières organiques et les autres matériaux (tels les résidus de végétation, le fumier etc.) sont concentrés dans et sous le billon, de telle sorte que les plantes peuvent les utiliser complètement ;
- Dans le cas où les billons sont placés en travers de la direction du vent, l'on peut ainsi combattre les effets produits par l'érosion éolienne ;
- Le sarclage est facilité parce que celui-ci pourra se faire en utilisant la traction animale pendant que la plante pousse (le buttage se fera avec le même outil que celui avec lequel les billons ont été faits) ;
- En ce qui concerne l'influence sur le sol et la conservation des eaux, les processus suivants sont pris en considération :
 - a. Si les billons sont faits sur un sol humide, ils se dessècheront vite (grande surface d'évaporation). Ceci est souvent désavantageux parce qu'il faut semer dès les premières pluies et on perd ainsi une quantité d'eau précieuse.
 - b. Si la pluie tombe sur un billon déjà formé il y aura moins d'infiltration d'eau dans ce billon que sur une surface plane. L'eau se concentrera donc dans les sillons. Si la capacité d'infiltration y est insuffisante (vu la durée et l'intensité de la pluie) il peut rester de l'eau en surface. Ceci entraîne le ruissellement de l'eau qui dépendra de la pente. Dans la plupart des cas, il faudra donc construire les billons le long des courbes de niveau pour ainsi prévenir le danger d'un écoulement rapide. Quand la quantité d'eau ainsi recueillie devient trop élevée, il y a des chances que le billon se rompe, ce qui entraînera des dégâts importants. Ceci peut être évité en dirigeant ce ruissellement de l'eau en inclinant faiblement les billons. Ceci n'est pas facile à effectuer par le paysan.
 - c. Ces dernières années, une attention importante a été attirée sur la fabrication de cloisonnements le long des billons. Ceux-ci entraînent la formation de petits bassins qui empêchent le mouvement de l'eau. L'avantage de ce système est que, dans ce cas, les billons peuvent être placés le long de la pente, ce qui cause moins de dégâts en cas de rupture des cloisonnements.

Coûts et bénéfices

Sur les terres légères, le temps de travail pour billonner à la main est d'environ 120 heures/ha ; à la charrue avec une paire de boeufs il faut environ 12 h/ha. Exécuté au billonneur, l'opération prend environ 9 h/ha et, si le sol est déjà ameubli par un labour, on peut même billonner un ha en 7 heures. Un buttage demande environ 160 h/ha à la main ou 15 h/ha avec billonneur; c'est plus qu'un billonnage parce qu'on doit travailler avec plus de prudence entre les lignes des plantes. Pour les terres lourdes, le billonnage (direct) à la charrue demande environ 30 h/ha. Le buttage demande à peu près le même temps que sur un sol léger (le sol étant déjà ameubli).

Les billons cloisonnés demandent entre 120 et 150 h/ha s'ils sont faits à la main; après un billonnage, on estime qu'il faut 27h/ha de main d'oeuvre additionnelle pour cloisonner en billons (Nicou et al., 1987), un chiffre qui peut être réduit considérablement si un «cloisonneur» simple est attaché à l'arrière de la charrue.

On doit remarquer que le nombre d'heures nécessaire en travail manuel est généralement considéré comme excessif par les paysans et, pour cette raison, le billonnage est rarement appliqué pour les céréales.

Bien que l'on doive tenir compte des avantages et des désavantages des travaux du sol, les résultats obtenus sur les stations expérimentales au Burkina Faso (par l'INERA) montrent des rendements positifs obtenus par les techniques de billonnage et de buttage. Quelques résultats et conclusions sont résumés ci-dessous. Les chiffres sont des moyennes obtenus sur quelques années et sur quelques sites situés sur le Plateau Central. Il faut rappeler que les parcelles (superficie de 96 m²) étaient suffisamment fertilisées.

Les billons offrent une grande superficie exposée à l'évaporation. Il est évident que l'on obtient des rendements réduits ou qu'on a des problèmes de développement des plantes avec le billonnage quand une période de sécheresse arrive pendant le début de la croissance des plantes.

Lorsque le labour à plat est suivi par un buttage on a pu constater de meilleurs rendements qu'après un labour à plat simple, surtout dans les cas où on a cloisonné les billons, ce qui est fortement recommandé. En ce qui concerne la date du cloisonnement, on trouve que, dans les zones sèches, la coïncidence avec la floraison donne les meilleurs résultats (Nicou et al., 1986, Nicou et al., 1987). Avec le cloisonnement, on risque de provoquer l'asphyxie des interbillons, mais seulement dans les régions plus humides (pluviométrie > 1000 mm/an) ou, par exemple, dans la partie inférieure d'une toposéquence. Pour l'éviter, on peut cloisonner les billons alternativement (Nicou et Charreau, 1985).

Pour le mil (régions à 600-700 mm de pluie/an) on trouve un effet additionnel sur le rendement en grain (par rapport à une parcelle non-travaillée) de 34 % pour le labour à plat, de 59 % pour le billonnage cloisonné seul et de 68 % pour la combinaison labour plus billonnage cloisonné. Le buttage (après une préparation du sol par scarifiage) donne un rendement additionnel de 33 %.

Pour le sorgho (zones à 700-1000 mm pluie /an) les rendements additionnels dus au billonnage dépendent de la période de travail, mais sont toujours de l'ordre de 40 à 100 %. Il reste très important de bien assurer une bonne émergence des plantes et cela est difficile à réaliser avec le semis sur billons (ou sur billons cloisonnés).

Pour le maïs, dans les zones à forte pluviométrie on peut préférer le billonnage pour assurer un meilleur ressuyage (rendement additionnel de 20-23 %) ; dans les zones à pluviométrie limitée, le buttage et le cloisonnement sont intéressants.

Généralement, on a trouvé un effet nettement supérieur du labour à plat sur les parcelles non-travaillées. Aussi comme façon de préparer le sol, le labour à plat est meilleur que le labour en billons. Pour cela, on recommande d'accompagner le billonnage/buttage d'un labour à plat (Nicou et al., 1987).

Les résultats ci-dessus ont été confirmés par les expérimentations en milieu paysan, réalisées par le programme Recherche-Développement dans le Yatenga au Burkina Faso (voir tableau 3.1.4.). Les caractéristiques du site (Ziga) sont: sols lourds et profonds, pluviométrie moyenne de 600 mm (en 1984 : 350 mm ; en 1986 : 525 mm).

Tableau 3.1.4 : Comparaison entre les différentes techniques de travail du sol et leur effet sur les rendements (Yatenga).

	Rendements (mil, kg/ha)	
	1984	1986
Témoin non-travaillé	69	954
Labour à plat	130 (+ 88%)	1318 (+ 38%)
Billons cloisonnés au semis (par labour)	258 (+274%)	1292 (+ 35%)
Labour à plat + buttage cloisonné à 1 mois	456 (+561%)	1563 (+ 64%)
Semis direct sur billons cloisonnés de l'année précédente		1510 (+ 58%)

Source: Dugue (1985 ; 1987)

Ainsi, on obtient, pour des années avec des pluviométries très différentes, un effet nettement positif du labour à plat, mais un effet supérieur lorsqu'on applique un buttage cloisonné un mois après le semis. Le semis sur billons est seulement utile pendant une année sèche dans la deuxième moitié de l'hivernage, comme expliqué ci-dessus, mais les résultats montrent aussi qu'il n'est pas nécessaire d'araser les anciens billons pendant la préparation de l'année suivante. Les anciens billons ne gênent apparemment pas le bilan hydrique des jeunes plantes.

La question qui reste : Quelle est l'influence du billonnage/buttage sur les niveaux de ruissellement et d'érosion ? On dispose de quelques séries de mesures.

1. Allokoto (Vallée de la Maggia, Niger)

Delwaille (1973) a trouvé les chiffres suivants (le 24 juillet avec une forte pluie) :

- Erosion sur une parcelle témoin de 5.5 tonnes/ha.
- Erosion sur une parcelle labourée et billonnée (avec courbes de niveau) de 2.0 tonnes/ha.
- Erosion sur une parcelle aménagée (en diguettes d'épandage), labourée et billonnée de 0.6 tonne/ha.

(pluie de 31 mm, pente de 3 %, superficie disp. 4000 m², sols riches, 40-60 % argile, 150 mm/m capacité de réserve en eau).

2. Gampela (Burkina Faso, 1967 - 1972)

Les résultats du CTFT, obtenus à Gampela, ont déjà été discutés. On en a conclu que le cloisonnement des billons est impératif. Les jours de pluie, on a parfois constaté une augmentation de l'érosion de 70 % par rapport à celle obtenue avec les billons cloisonnés (CTFT, 1973). En outre, on trouve pour les sols sableux-gravillonnaires que le risque de déversement des billons est très grand, vu la faible structure des sols. On déconseille même leur utilisation en trouvant une augmentation très faible des rendements à la récolte (CTFT, 1973).

3. Saria (Burkina Faso, 1986)

L'INERA a mesuré pendant une campagne l'érosion et le ruissellement sur des champs billonnés/buttés. Le dispositif expérimental était caractérisé par: pluviométrie annuelle utile de 728 mm (bonne) ; superficie de chaque parcelle de 96 m² ; sols sableux/sabolo-limoneux avec une capacité de stockage en eau de 70-100 mm/m ; pente de 0.8 % ; sur une station d'expérimentation, parcelles bien fertilisées (Nicou et al, 1986, tableau 3.1.5).

Tableau 3.1.5 : Influence du billonnage/buttage sur les niveaux de rendements, de ruissellement et d'érosion à Saria (1986).

	Récolte kg/ha	Ruissellement %	Erosion t/ha
Témoin	1395	44	19.6
Labour à plat	2885	24	20.8
Labour & buttage après 1 mois + clois.	2875	15	20.8
Labour & buttage après 1 mois + clois. après 2 mois	3427	7	17.2

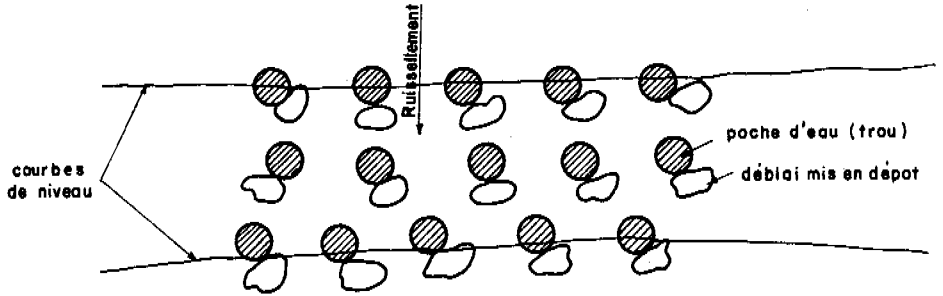
On a pu constater que :

- Les rendements sont les mêmes pour un labour à plat simple et pour un labour à plat avec des techniques culturales additionnelles. Ceci peut s'expliquer par la bonne pluviométrie de 1986 qui a rendu toutes ces techniques additionnelles inutiles.
- Pendant la saison des pluies, l'érosion et le ruissellement sont complètement arrêtés, à cause du buttage cloisonné.
- L'influence du buttage sur le ruissellement est évident, mais l'effet sur l'érosion est limité. Apparemment la protection au début de la saison des pluies joue un rôle capital pour l'érosion.

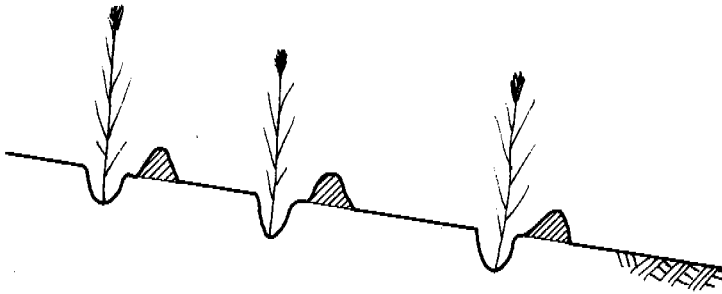
En résumant, en fonction de la pluviosité du site et de l'année, on a pu constater un effet nettement positif du buttage cloisonné sur les rendements des récoltes. Il apparaît que la raison n'en est pas liée à la conservation de l'eau, mais plutôt à la création d'une situation favorable à une croissance plus rapide des plantes. C'est effectivement pour cela que, dans la lutte contre l'érosion, le buttage cloisonné n'est pas tout à fait efficace, à cause du retard dans la confection des buttes, bien que cette méthode montre des résultats excellents dans la diminution du ruissellement. Ce retard peut être évité en construisant les buttes (et cloisons) après la levée des plantes. Compte tenu d'autres considérations, en particulier sa réalisation coûteuse et qui prend beaucoup de temps sans traction animale (Dugue, 1987), cette technique doit encore gagner sa place dans la lutte anti-érosive.

Figure 6 : Zai

a. vue en plan



b. coupe transversale



3.2 - Ouvrages durables

3.2.1 - Zay

Description (voir figure 6)

La technique du zay ou poches d'eau consiste à creuser des trous dans des terrains colmatés (en surface) afin d'y recueillir les eaux de ruissellement et les y faire infiltrer. Cette technique pourrait être classée comme technique de travail du sol, mais son effet s'étend sur plusieurs années si les trous sont ré-approfondis annuellement. Le ratio surface de l'impluvium/surface du trou se situe entre 7/1 et 20/1. Les trous sont creusés à la fin de la saison des pluies, de préférence quand le sol ne s'est pas encore complètement asséché. Ils ont une profondeur de 5 à 15 cm et un diamètre compris entre 15 et 50 cm. Ils sont partiellement remplis d'une certaine quantité de matière organique, ce qui est nécessaire pour améliorer la porosité et la capacité d'infiltration à l'eau du sol à travers l'activité des termites lors de la saison sèche. Mais la matière organique a également un effet fertilisant. Au début de la saison des pluies, on y met les semences (mil ou sorgho). Les trous peuvent être recreusés pendant la saison suivante, mais après quelques années de culture de zay, un terrain peut parfois être cultivé sans ces dispositifs, à cause de la régénération du sol.

La technique du zay, traditionnellement appliquée au Burkina Faso (province du Yatenga), est également connue au Niger (sous le nom de "tassa"). Le grand avantage de cette technique est qu'elle est simple et maîtrisable par les paysans, et que le travail, qui est important, peut être fait pendant la saison sèche. Une condition doit être remplie : la matière organique doit être disponible.

Applicabilité

La technique du zay est bien adaptée à la zone soudano-sahélienne. Dans les zones plus humides, des problèmes liés à l'asphyxie des sols apparaissent, tandis que, dans les zones plus sèches, le risque de brûlures des plantes (à cause du fumier) est très grand.

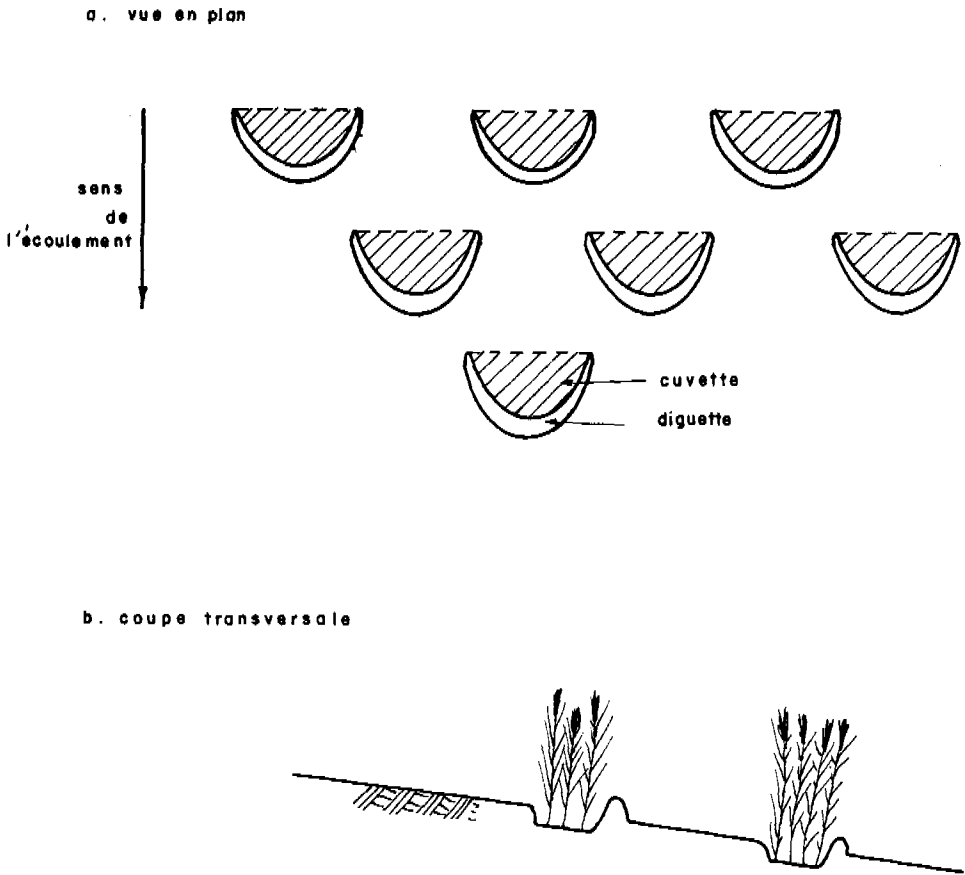
Bien que cette technique soit mieux adaptée à des terrains dégradés et colmatés en surface, elle est applicable sur tous les terrains ayant un sol limoneux ou argileux.

Coûts et bénéfices

Les coûts ne concernent pratiquement que le temps investi par le paysan dans la réalisation des trous ainsi que leur remplissage avec de la matière organique. Dépendant des dimensions des trous et de la dureté du sol, le creusement nécessite entre 30 et 70 HJ/ha, tandis que le temps investi dans l'apport de fumier peut être estimé à 20 HJ/ha. L'investissement total se situe donc entre 50 et 90 HJ/ha, auquel il faut ajouter l'amortissement du petit matériel utilisé. Ce dernier est estimé à un montant de 4.000 FCFA/ha.

Concernant les bénéfices, peu de données sont disponibles. Selon des données du Projet PAF (Mathieu Ouedraogo, communication personnelle), des rendements supérieurs à 1,0 t/ha de mil et de sorgho ont été enregistrés en 1986 et 1987, avec des pluviométries totales autour de 450 mm, sur des terrains traités avec la technique du zay. Mais il est connu que, du fait d'un risque de brûlure des plants pendant de courtes périodes sans pluie, les rendements peuvent être assez bas. Des parcelles expérimentales installées par le Projet PAE à Tougou n'ont pas donné de production en grains de sorgho en 1986 (pluviométrie

Figure 7: *Demi-lunes*



totale 507 mm), ni en 1987 (pluviométrie totale 444 mm), à cause de périodes de sécheresse du sol sous traitement par la technique du zay. Une estimation assez réaliste des rendements attendus avec du zay permet de conclure que ceux-ci se situent en moyenne à un niveau légèrement plus bas que les rendements de mil et de sorgho dans cette région, qui sont d'environ 0,7 t/ha, mais que le risque de mauvaise récolte est plus élevé. Il faut noter que le zay est appliqué sur des terrains dégradés qui ont été abandonnés pour la culture, ce qui veut dire que les rendements obtenus sont à cent pour cent des bénéfices de la technique appliquée.

3.2.2 - Demi-lunes

Description (voir figure 7)

En fait les demi-lunes ressemblent fort à la technique du zay, à la différence que les "trous" ont un diamètre variable de 1,0 à 2,5 m, et que la terre excavée (profondeur d'environ 0,20 m) est mise en dépôt du côté aval comme une banquette (diguette en terre). Cette diguette est parfois revêtue de blocs de pierre. Dépendant du diamètre et de l'écartement des demi-lunes, le ratio surface d'impluvium/surface de la demi-lune varie entre 1,5/1 et 3/1. L'application de matière organique n'est pas primordiale comme pour le zay, et ceci essentiellement parce que la capacité de stockage de l'eau est relativement plus importante, et que celle-ci peut mettre du temps à s'infiltrer dans le sol. Pour les demi-lunes non-revêtues, un entretien annuel est nécessaire.

On trouve la technique des demi-lunes surtout au Niger, où elle est populaire dans le Nord du département de Tahoua (voir annexe 1, projet Ader-Nord).

Applicabilité

En tant qu'ouvrage de collecte des eaux de ruissellement, la demi-lune est surtout adaptée aux zones sahélienne et soudano-sahélienne. Elle est moins utile dans la zone soudanienne où d'autres techniques de CRS/DRS lui sont préférées, compte tenu des inconvénients que présentent les demi-lunes, qui empêchent la mécanisation des travaux agricoles et nécessitent un entretien assez important.

Implantés en zones sèches, ces ouvrages ne conviennent qu'aux sols relativement lourds ayant une capacité de rétention en eau assez élevée : sols limoneux et argilo-limoneux. Ils peuvent être utilisés pour l'agriculture aussi bien que pour la foresterie.

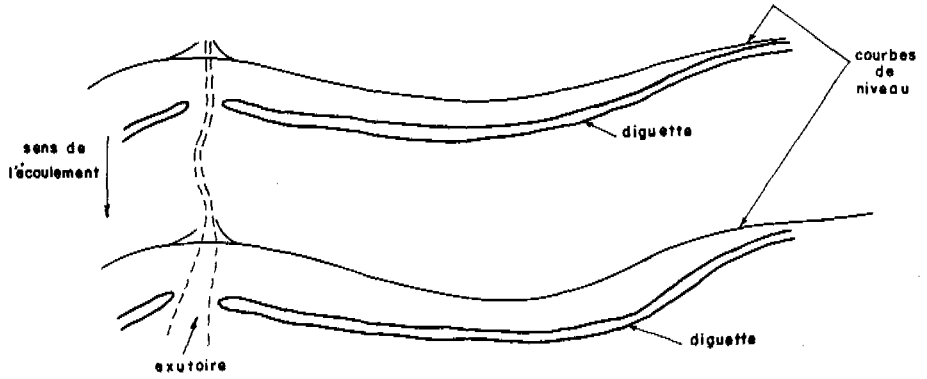
Coûts et bénéfices

Comme pour la technique du zay, l'investissement pour la réalisation des demi-lunes consiste pour la majeure partie en du travail des paysans, qui s'élève à 100 à 200 HJ/ha. A ceci s'ajoutent l'amortissement du petit matériel (4.000 FCFA/ha) et l'assistance technique par le projet pour l'implantation des demi-lunes, dont les coûts sont de l'ordre de 6.000 FCFA/ha (Projet Ader Nord).

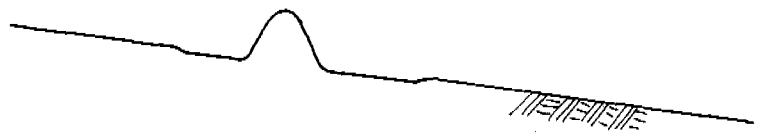
En cas de revêtement des bourrelets avec des pierres, les coûts sont beaucoup plus élevés. Le ramassage, le transport et la mise en place des pierres nécessitent entre 150 et 300 HJ/ha, et l'utilisation des moyens de transport (camion ou charrettes) coûte entre 30.000 et 60.000 FCFA/ha (voir aussi le calcul des coûts de transport de pierres dans la section 3.2.5).

Figure 8: *Diguettes en terre*

a. vue en plan



b. coupe transversale



Les rendements obtenus sur les sites traités avec des demi-lunes sont à considérer comme des bénéfiques, compte tenu du fait que, sans ces dispositifs, les terrains concernés resteraient incultivés. Au Projet Ader-Nord, des rendements moyens de 0,6 t/ha de mil seraient réalisés.

3.2.3 - Diguettes en terre

Description (voir figure 8)

Les diguettes en terre sont confectionnées en terre compactée provenant d'une bande de terrain de 2 m prélevée de chaque côté. Leur hauteur varie entre 0,3 et 0,5 m et leur largeur à la base entre 0,6 et 1,5 m. Elles ne sont jamais revêtues. Elles peuvent être complètement horizontales (suivant les courbes de niveau) ou avoir une pente latérale de 0,2 à 0,3 %. Dans le premier cas, on parle de diguettes en terre isohypses, dans le deuxième cas de diguettes en terre divergentes. Dans le premier cas, il y a un effet de collecte des eaux de ruissellement, tandis que les diguettes divergentes ont pour effet de prolonger le contact de l'eau de ruissellement avec les terrains traités, et de s'opposer par là même à l'érosion hydrique. Dépendante de la pente du terrain, leur distance varie entre 25 et 50 m. La construction de petits déversoirs, renforcés avec des pierres, est recommandée pour améliorer la durée de vie de ce type d'ouvrage (Wright 1984). Les diguettes doivent aussi être végétalisées, tandis que leur longueur ne doit pas dépasser 200 m. Les diguettes sont généralement exécutées à la main par les populations locales. D'habitude, l'implantation est faite par un topographe. Dans certains cas, les diguettes sont exécutées partiellement par des moyens mécaniques, au tracteur, en sous-solagé de la surface d'implantation de la diguette avec ensuite constitution du remblai par passages successifs (3 fois) d'une charrue. Les paysans assurent ultérieurement le compactage manuel du remblai.

Le plus grand inconvénient des diguettes en terre est leur vulnérabilité, et ceci même si les diguettes sont protégées sur leurs flancs par la plantation d'herbes. Si elles ne sont pas bien implantées ou réalisées, elles cassent aux endroits où l'eau se concentre. De plus, elles ont besoin d'un entretien régulier, ce qui n'est que très rarement garanti en milieu paysan. Les diguettes isohypses peuvent provoquer des problèmes d'asphyxie en amont, tandis qu'une bande de terrain du côté aval reste relativement sèche après une pluie, raison pour laquelle des brèches sont parfois créées par les paysans (Reij 1983). C'est pour ces raisons qu'au Burkina Faso, où, au cours des 15 dernières années, plus de 50 000 ha de ce type de diguettes ont été réalisés, dont la moitié s'est dégradée en moins de 5 ans depuis leur construction (FEER 1987), ce type d'ouvrage n'est plus recommandé qu'à l'unique condition que l'alternative des diguettes en pierres ne puisse être envisagée.

Applicabilité

Compte tenu des restrictions mentionnées ci-dessus, les diguettes en terre ne sont pas adaptées à la zone agro-climatique sahélienne, où la croissance des végétaux de protection ne peut être assurée. Dans les zones plus humides (soudanienne par exemple), cette technique est applicable moyennant certaines précautions, à savoir réalisation de diguettes divergentes et d'exutoires pour l'évacuation des eaux excédentaires.

Topographiquement, les terrains trop pentus ($> 3\%$) ne sont pas à traiter par ce dispositif (construction correcte trop délicate et écartement trop réduit). Pédologiquement, les terrains avec des sols sableux sont moins aptes à la construction de diguettes : elles s'y dégradent vite, sauf si elles sont bien végétalisées. Sur des sols argileux et argilo-limoneux, les risques d'asphyxie sont tels que les diguettes isohypses y sont déconseillées.

Coûts et bénéfices

Le FEER(1986) a calculé le coût à l'hectare de ce type d'aménagements ; il se répartit comme suit :

petit matériel	4 972 F.CFA/ha
intervention topographique personnel	4 617 F.CFA/ha
intervention topographique matériel	4 886 F.CFA/ha
intervention mécanisée	4 400 F.CFA/ha
intervention encadrement FEER	1 503 F.CFA/ha
gestion générale FEER 8%	597 F.CFA/ha
	20 975 F.CFA/ha

Il est clair que l'intervention topographique constitue une part importante des dépenses (45 %). Le FEER estime la participation villageoise pour le compactage à 22 jours/ha (200 m de diguettes par ha, correspondant à une distance entre les digues de 50 m). Le sous-solage de la bande d'emprunt et la constitution du remblai des diguettes étaient faits par un tracteur.

Trois autres projets ont fait des mesures concernant les temps de travaux et le coût de l'ameublissement par tracteur. Ce sont le projet PACILSS dans la province du Bam (PACILSS, 1988), le projet Recherche Développement dans la province du Yatenga et le Programme National de Lutte contre la Désertification (Bama et al, 1985) ; les résultats sont donnés dans le tableau 3.2.1.

Tableau 3.2.1 : Coût (FCFA) et temps de travail (hommes-jours) pour 1 ha de traitement avec des diguettes en terre (Longueur des diguettes 200 m, hauteur 0,40 m)

projet	temps de travail avec tracteur	temps de travail sans tracteur	coût du tracteur (FCFA)
FEER	22	-	4 400
R/D	-	160	-
PACILSS	80	200	10 000
PNLD	12	-	2 300

Les différences entre les divers projets sont notables. Le temps de travail du PNLD est réduit ; ceci est dû au fait que le travail a été exécuté par une main-d'oeuvre salariée. Une raison pouvant justifier les temps de travail et les coûts élevés du PACILSS peut être la différence dans les échelles des aménagements ; le PACILSS traite des unités isolées d'environ 1 ha tandis que le FEER et le PNLD traitent au moins 10 ha d'un seul tenant.

Concernant les bénéfices, des mesures de l'érosion et du ruissellement ont été faites à Sirgui dans la province du Sanmatenga (zone subsaharienne) entre 1980 et 1984. Le type de sol n'est pas décrit. En comparaison avec les sites témoins, les diguettes en terre divergentes type FEER montrent une réduction de l'érosion d'environ 40 %, et une diminution du ruissellement de 11 % (FEER, 1986).

Pour une estimation des effets de ce type d'ouvrage sur les rendements agricoles, on ne dispose que de résultats d'enquêtes, faites par le FEER en collaboration avec l'ICRISAT en 1982, 1983 et 1984. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.2.2.

Tableau 3.2.2 : *Effets des sites FEER avec des diguettes en terre sur les rendements en grains de sorgho et mil dans deux zones agro-climatiques au Burkina Faso en 1982, 1983 et 1984 (Matlon 1986)*

	rendements grains (en t/ha)			
	sorgho	mil	zone soudano-sahélienne	zone soudanienne
avec diguettes	0,74	0,30	0,18	0,59
sans diguettes	0,57	0,21	0,13	0,44
augmentation (%)	30	43	38	34
nb.d'observations	100	234	126	208

Ces données n'indiquent pas les variations des rendements selon la pluviométrie, ni l'effet d'une éventuelle fertilisation appliquée par les paysans. Le type de sol et l'état des diguettes ne sont pas décrits non plus. Ces chiffres montrent que l'ordre de grandeur des bénéfices moyens, obtenus par ce type d'ouvrage appliqué dans un système de culture non-intensive, se situe entre 100 et 200 kg de graines à l'ha en zone soudanienne, et beaucoup moins en zone soudano-sahélienne.

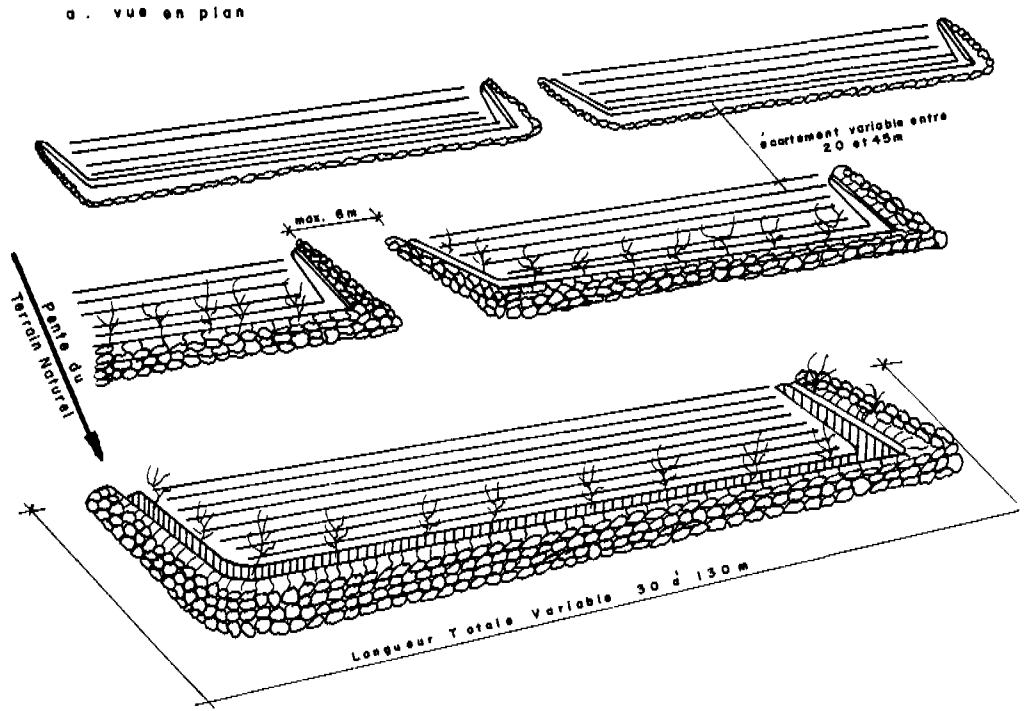
3.2.4 - Fossés ados

Description (voir figure 9)

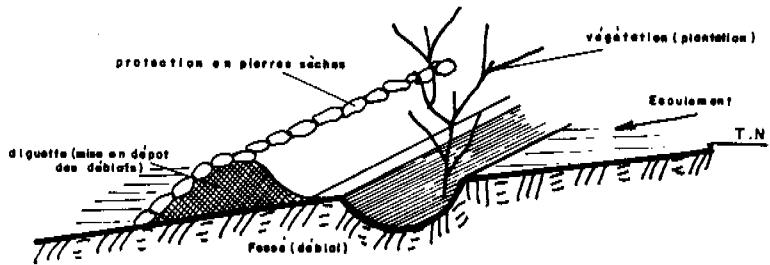
Un fossé ados est une banquette en terre, parfois revêtue de pierres (côté aval), implantée suivant une courbe de niveau. Il ressemble à la diguette en terre, mais la terre de la banquette provient d'un fossé qui est creusé juste en amont (plus rarement en aval). Sa hauteur varie entre 0,4 et 0,8 m, sa largeur entre 0,6 et 1,2 m. La longueur des fossés ados est limitée, ne dépassant pas une centaine de mètres, avec aux deux extrémités des "ailes" pour éviter l'écoulement latéral des eaux de ruissellement qui sont captées par le dispositif. Souvent, une bande de terre en amont du fossé est destinée aux cultures de mil ou de sorgho, une deuxième bande localisée plus en amont de celle réservée à la culture servant d'impluvium. Dans la région de l'Ader Doutchi Maggia, où l'on trouve ces dispositifs, le rapport des surfaces entre impluvium et terrain cultivé varie entre 1/1 et 2/1, mais des fossés ados sont aussi construits sur des terres de glaciais, où tout le terrain est cultivé. Dans le premier cas, l'écartement des fossés est plus grand (entre 40 et 60 m) que sur le glaciais, où la pente est plus importante et où l'écartement se situe entre 20 et 35 m. Les fossés ados peuvent aussi être utilisés pour la protection des champs contre l'eau de ruissellement des terrains en amont, mais dans ce cas, ils doivent avoir une pente longitudinale et déboucher sur un drain : ce sont des fossés de déversement (fossés de garde).

Les fossés ados ont été, en fait, les premiers ouvrages non-traditionnels de CES/DRS qui ont été introduits dans les pays du Sahel à partir de 1965. Ce type d'ouvrage qui avait été

Figure 9 : Fossés ados



b. coupe transversale



développé aux Etats-Unis (sous le nom de "bench terrace") a constitué la technique principale appliquée à l'aide de gros engins par le projet GERES au Burkina Faso et le projet Badégnichéri au Niger (voir 2.2). Au Niger, les banquettes étaient revêtues par des pierres, raison pour laquelle il en reste actuellement quelques unes, contrairement au Burkina Faso où tout a disparu. Néanmoins, une bonne partie des fossés ados revêtus, construits sur des sols argileux dans la région de l'Ader Douchi Maggia, se sont également dégradés, à cause de brèches non-réparées par les paysans (Martin 1979). Une des raisons en est le problème d'asphyxie et de mauvaise répartition de l'eau sur les champs dont les sols sont peu perméables, comme cela a déjà été décrit pour les diguettes en terre. Actuellement, des fossés ados sont toujours vulgarisés au Niger, notamment par le Projet Intégré Keita (voir 2.2). On essaye d'éviter les problèmes de dégradation par une attention particulière portée au travail du sol, afin d'éviter les problèmes d'asphyxie.

Applicabilité

Les fossés ados sont les plus utiles dans la zone soudano-sahélienne. Les zones plus humides exigent des possibilités de drainage (risques d'asphyxie) qui sont difficiles à combiner avec ce type d'ouvrage.

Les terrains à traiter ne doivent pas avoir de fortes pentes (jusqu'à 3 %), et les sols ne doivent pas être trop sableux pour que les banquettes ne se dégradent pas trop vite. La capacité d'infiltration de l'eau dans les sols ne doit pas être trop réduite pour éviter des problèmes d'asphyxie. Pour cette raison, l'implantation des fossés ados est généralement accompagnée d'un sous-solage, qui doit être suivi d'un travail du sol annuel assez profond.

Coûts et bénéfices

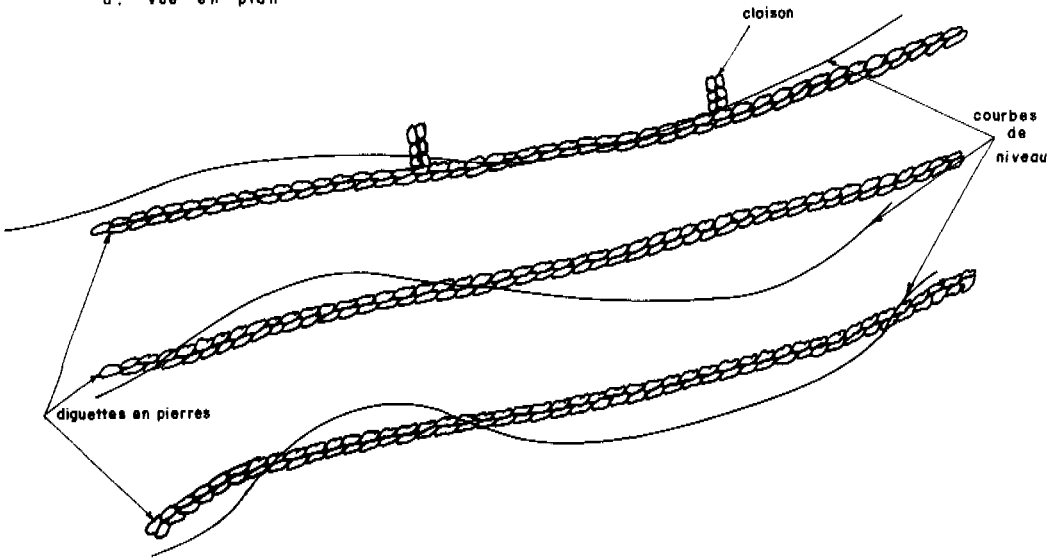
Concernant les coûts, il faut distinguer les fossés ados confectionnés à la main et ceux faits par des engins. Le revêtement avec des pierres ne peut être fait que manuellement, avec une assistance par le projet pour les moyens de transport : camions ou charrettes.

Le projet PDRT a mesuré les coûts en investissement humain pour l'aménagement de deux terrains avec des fossés ados construits à la main dans la vallée d'Alibou (Projet Productivité 1984). Pour deux sites où l'écartement des fossés était de 20 m (500 m de fossés par ha), la main-d'oeuvre nécessaire pour le creusement des fossés était en moyenne de 40 HJ/ha, et celle nécessaire pour le ramassage, transport et mise en place des pierres de 140 HJ/ha. Quand l'écartement des fossés augmente, la main-d'oeuvre nécessaire diminue proportionnellement. Quant aux coûts de l'assistance fournie par le projet, ceux-ci comprennent l'assistance technique (topographes et autres) qui est de l'ordre de 10.000 FCFA/ha, le moyen de transport qui est estimé à 40.000 FCFA/ha (voir 3.2.5), et la fourniture de petit matériel : 1.000 FCFA/ha. Si le coût d'un jour de main-d'oeuvre de la population est évalué à 500 FCFA (la valeur des rations de vivres PAM fournies), le coût total dans cet exemple revient à 141.000 FCFA/ha.

Pour le Projet PIK, de tels chiffres détaillés ne sont pas disponibles. Contrairement au Projet PDRT, le projet PIK fait faire les fossés ados par des engins. Néanmoins, le revêtement se fait de la même façon. Selon Rochette (1989), le coût total par ha aménagé par le projet PIK serait de 250.000 FCFA/ha, mais les coûts qui sont compris dans ce montant ne sont pas clairement précisés. Probablement, sont inclus les coûts du sous-solage et du billonnage de toute la superficie qui sont faits par des engins du projet.

Figure 10 : Cordons de pierres

a. vue en plan



b. coupe transversale



Concernant les bénéfices des fossés ados, peu de données sont disponibles, et celles qui le sont reflètent le résultat des fossés combinés avec un labour profond (sous-solage) du sol. Le projet PIK (1988) a mesuré des rendements par sondage sur sites aménagés. Ces rendements étaient de 0,2 à 1,2 t/ha (moyenne 0,5 t/ha) de sorgho ou de mil, avec une pluviométrie entre 277 et 417 mm en 1987. Comme les sites avaient été remis en culture grâce à l'aménagement, ces rendements sont à considérer comme des bénéfices de l'aménagement.

Sur un site de recherche dans la même région et sur le même type de sol (argilo-limoneux) à Allokoto (voir 2.3), avec une pluviométrie annuelle variant entre 300 et 500 mm, on a mesuré entre 1966 et 1971 que la parcelle aménagée avec des fossés ados donnait un meilleur rendement que celles aménagées avec des bandes d'*Andropogon* ou (*Andropogon Gayanus*) des murettes. Par rapport à la parcelle témoin non aménagée, les rendements étaient supérieurs de plus de 100 %, mais 60 % de cette augmentation s'expliquerait par le travail du sol (binage et billonnage) appliqué en même temps (Delwaulle 1973).

3.2.5 - Cordons de pierres

Description (voir figure 10)

La différence entre tous les ouvrages décrits précédemment et les ouvrages en pierres, ainsi que les mesures végétatives qui sont décrites ci-après, réside essentiellement dans le fait que ceux-ci sont filtrants, c'est-à-dire que l'eau ruisselante n'est pas arrêtée, mais seulement freinée. L'effet de conservation de l'eau est, pour cette raison, moindre, mais les risques d'asphyxie et de dégâts liés aux débordements (ruptures des ouvrages et naissance de ravines) sont réduits. Pour cette raison, combinée avec la dureté des pierres en tant que telles, les ouvrages en pierres sont moins vulnérables et ont une durée de vie plus grande ; leur implantation exige également moins de précision. Par contre, l'approvisionnement et le transport des pierres pour leur construction constituent des contraintes particulières (voir chapitre 4).

Les cordons de pierres, les alignements de pierres et les murets sont tous des ouvrages qui sont construits en suivant les courbes de niveau. La différence entre ces ouvrages est liée à leurs dimensions : les murets atteignent une hauteur de 0,60 m ; les alignements de pierres ont une hauteur limitée à une seule pierre soit 0,20-0,30 m ; les cordons de pierres ont une dimension intermédiaire. Les pierres sont soit simplement posées sur le sol, soit ancrées dans le terrain. Les ouvrages sont réalisés en lignes continues ou discontinues : les extrémités des parties discontinues sont parfois recourbées vers l'amont. La distance entre les cordons varie entre 15 et 50 m sur des pentes entre 3 et 0,5 %.

La technique d'alignement de pierres est traditionnelle dans plusieurs régions des pays du Sahel. En général, les pierres sont implantées en carrés (ne suivant pas les courbes de niveau) et sur une épaisseur d'une seule pierre (rarement deux pierres), ce qui limite leur efficacité. L'implantation des cordons de pierres suivant les courbes de niveau est une condition pour éviter les écoulements d'eau parallèles aux cordons et les concentrations d'eau qui peuvent provoquer des brèches. Ce même problème peut se produire quand les cordons perdent leur perméabilité dans le temps, à cause d'un comblement par des sédiments. Pour éviter les brèches dues à ces phénomènes, des cloisons peuvent être construites du côté amont des cordons (voir figure 10), et des bandes végétatives herbeuses peuvent être installées pour renforcer à long terme les cordons.

Actuellement on peut dire que, au moins sur le Plateau Central du Burkina Faso, les cordons de pierres sont le seul dispositif que les paysans implantent, à plus ou moins grande échelle, sur leurs champs de culture sans être rémunérés et parfois même sans bénéficier d'une assistance technique quelconque.

Le Projet PLAE au Mali vulgarise les cordons de pierres comme technique de lutte contre les eaux de ruissellement provenant des plateaux, qui risquent de causer des problèmes d'érosion dans les champs situés sur les glacis. Deux lignes de cordons de pierres sont recommandées juste en amont de la zone de culture, afin de ralentir et d'épandre ces eaux, et d'augmenter l'infiltration.

Applicabilité

Les zones agro-climatiques où les cordons de pierres sont les plus adaptés sont les zones soudano-sahélienne et soudanienne. Dans la zone soudano-guinéenne, ils sont également applicables, mais, dans cette région à pluviométrie plus importante, l'effet bénéfique sur les rendements sera très réduit, voire même nul, en raison de l'absence de l'effet bénéfique lié à l'augmentation du volume d'eau infiltré ; les cordons jouent alors un rôle de protection des sols contre les risques d'érosion (D.R.S.). Concernant la topographie, il n'y a, en principe, pas de restrictions. Plus le terrain est pentu, plus rapprochées devront être les implantations de cordons/murets. En ce qui concerne les sols, il n'y a pas de restriction, mais il va sans dire que cette technique n'est applicable que sur des terrains où les pierres peuvent être ramenées en surface ou trouvées à proximité.

Coûts et bénéfices

Le coût du transport des pierres a été évalué par le projet PEDI à 12.200 FCFA par ha avec le camion multi-bac du projet, et à 26.300 FCFA par ha avec un camion de location (PEDI 1988).

Le projet PAF qui fait transporter les pierres à l'aide de charrettes, a ramené toutes les dépenses au nombre total d'hectares traités ; il en résulte un prix moyen de 25.280 FCFA par ha, basé sur 3491 ha réalisés en 7 ans (FEER 1986 ; Bagré et Sawadogo 1988).

L'investissement en travail humain fourni par la population n'est pas compris dans ces coûts. Selon les sources, il est très variable. En cas d'utilisation d'un camion pour le transport des pierres, il varie entre 80 et 160 hommes-jours par hectare aménagé. Selon les conditions, notamment la distance entre les cordons, la répartition de ce travail est la suivante :

ramassage et empilage des pierres :	25 - 50 HJ/ha
chargement du camion et transport :	10 - 20 HJ/ha
matérialisation des courbes de niveau :	5 - 10 HJ/ha
confection des cordons :	40 - 80 HJ/ha
total :	<hr/> 80 -160 HJ/ha

En cas d'utilisation de charrettes, les temps de travaux se situent plutôt entre 100 et 200 HJ/ha, mais ceci dépend fortement de la distance de transport (voir chapitre 4).

Les rendements des parcelles sur lesquelles on avait aménagé des cordons de pierres ont été comparés avec ceux de champs non aménagés sur un site expérimental à Bidi, dans la province du Yatenga, Burkina Faso. L'étude a été exécutée en milieu paysan, sans

fertilisation, sur des champs ayant un sol sableux, une pente de 2,5 %, un écartement entre les cordons de 20 m, et une hauteur des cordons de 0,50 m. Au cours de l'année 1985, qui a connu un sévère déficit en pluie (335 mm de précipitations, alors que la normale est de 550 mm), les rendements ont été très faibles : de 75 à 180 kg de grain de mil par ha. Sur les parcelles aménagées, la récolte était plus faible que sur les sites non aménagés, ceci étant dû à une très bonne croissance végétale, qui a rendu les plants plus sensibles à la sécheresse du mois d'août. En 1986 (pluviométrie 442 mm), les rendements des récoltes se situaient entre 175 et 469 kg par ha, et sur les sites aménagés, les rendements étaient de 70 % plus élevés que sur les sites non aménagés. En 1987, avec une pluviométrie de 484 mm, les rendements étaient de 30 % plus élevés sur site aménagé (Lamachère et Serpantie 1988).

Une autre expérimentation concernant un aménagement de cordons de pierres sur un site avec des sols sableux a été menée par le projet PEDI en collaboration avec le CIEH, au village de Namsiguia sur le Plateau Central du Burkina Faso. Ici aussi, les rendements obtenus sans mesures additionnelles de fertilisation, ont été comparés sur sites aménagés et non-aménagés. Il apparaît qu'en 1988, avec une pluviométrie totale de 768 mm, et en 1989, avec 537 mm (mais très bien répartis dans le temps), les rendements en grains du mil n'étaient pas significativement différents, malgré une meilleure disponibilité en eau dans le sol des sites aménagés (Vlaar 1990). Apparemment, la fertilité des sols était le facteur déterminant des rendements dans ces derniers cas.

Malheureusement, nous ne disposons pas de résultats de telles expérimentations en milieu paysan sur sols argileux, ni de résultats d'enquêtes qui pourraient nous fournir plus de renseignements concernant l'impact des cordons de pierres sur les rendements agricoles sur ce type de sols, qui doit être plus significatif que sur sol sableux. C'est seulement au village de Ziga au Burkina Faso que le Projet R/D a installé un site expérimental avec des cordons de pierres sur sol argileux. Ici, une augmentation des rendements de 200% par rapport aux parcelles non-aménagées a été observée en 1987, avec une pluviométrie totale de 473 mm, mal répartie dans le temps (Rodriguez 1988).

3.2.6 - Digues filtrantes

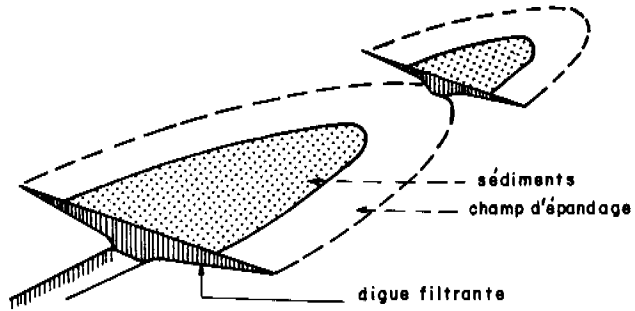
Description (voir figure 11)

Une digue filtrante est un dispositif en pierres libres (c'est-à-dire non maçonnées ni rejointoyées) qui est construit dans un cours d'eau à écoulement temporaire ou dans un bas-fond, avec comme objectifs : l'écrêtement des pointes de crues, l'épandage des écoulements, et la création d'un champ de cultures en amont de l'ouvrage, où la sédimentation des transports solides est provoquée. La combinaison de cette sédimentation avec l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol a un effet bénéfique pour les cultures : possibilité de cultiver du sorgho, voire même parfois du riz. De plus, le processus du ravinement dans le cours d'eau est freiné ou arrêté.

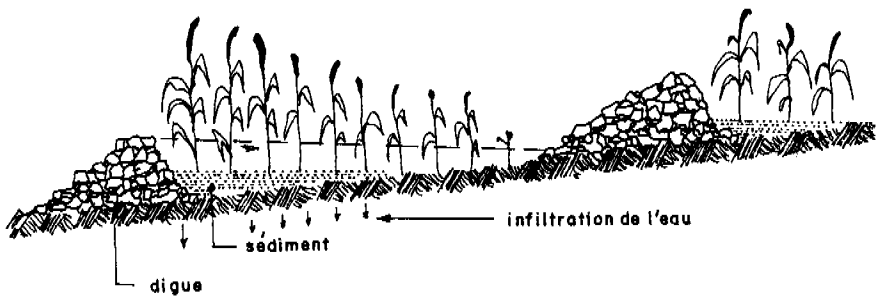
On parle de digue filtrante si la digue traverse le thalweg (bas-fond) d'une façon rectiligne. Si la digue est incurvée, en suivant plus ou moins une courbe de niveau, on parle de digue d'épandage. Ce type de digue est, par rapport à la digue filtrante, plus long, moins haut en son milieu ; une plus grande superficie de terrain peut bénéficier des eaux d'épandage. Les digues filtrantes et les digues d'épandage sont généralement horizontales, mais, quand le cours d'eau est important, il arrive qu'elles soient pourvues de déversoirs, implantés à

Figure 11 : *Digues filtrantes*

a. vue en plan



b. coupe transversale



l'endroit où elles coupent le thalweg. Ces déversoirs sont souvent construits en gabions et pourvus d'un bassin de dissipation en aval. Les digues filtrantes et digues d'épandage ne sont connues presque exclusivement qu'au Burkina Faso.

Au Mali-Sud (Projet PLAE), on vulgarise des dispositifs en tiges de mil ou de coton, fixés au sol par des piquets de bois. On les appelle "fascines" et ils sont implantés dans des champs de culture au travers des rigoles ou petites ravines, avec pour objectif de faire combler celui-ci par la sédimentation provoquée par ces obstacles. Des superficies perdues du fait de l'érosion en griffes/ravines sont ainsi récupérées, souvent en une année. Contrairement aux digues filtrantes, les fascines ne sont pas durables et nécessitent une réfection pratiquement annuelle. Elles sont aussi plus petites (hauteur maximale 50 cm).

Applicabilité

Concernant les zones agro-climatiques, les digues filtrantes et d'épandage sont des réalisations bien adaptées à la zone soudano-sahélienne, compte tenu de leur capacité limitée pour arrêter l'écoulement (qui n'est en fait que ralenti) ; l'eau n'est pas stockée, à l'exception de la quantité infiltrée dans le sol lors des crues.

Concernant les sols, il n'y a pas de restriction. Sur les terrains dégradés, les digues filtrantes peuvent créer de nouveaux champs de culture par l'effet de la sédimentation. Sur des sols sableux, où l'infiltration de l'eau est bonne et la capacité de rétention de l'eau limitée, l'effet bénéfique pour les cultures est moins prononcé que sur des sols limoneux et argileux.

Pour pouvoir bénéficier d'un impact assez important par ouvrage, les digues filtrantes sont utilisables essentiellement dans des thalwegs assez larges, avec des pentes longitudinales faibles (jusqu'à 1,5 %). Les crues qui passent dans les thalwegs ne doivent pas être trop importantes pour les digues non pourvues de déversoirs.

Les restrictions liées à la topographie des terrains et à l'hydrologie pour l'implantation des digues filtrantes constituent une des raisons pour lesquelles on trouve relativement peu de ces ouvrages au Niger où les thalwegs se prêtent moins à ce type d'ouvrages qu'au Burkina Faso.

Coûts et bénéfices

Les chiffres suivants sont basés sur la réalisation d'une digue de dimensions moyennes : hauteur 0,75 m, longueur 200 m. C'est-à-dire que la digue a un volume de l'ordre de 140 m³. Une digue de ce type permet d'aménager, en moyenne, environ 1,5 ha.

Le coût du transport par camion pour la réalisation d'une telle digue s'élève à 50 000 FCFA, soit 33 000 FCFA par ha (4,5 m³ par voyage, 15 voyages/jour, frais de camion d'environ 28 000 FCFA/jour). L'AFVP a estimé le coût de transport des pierres à 60 000 FCFA par ha pour la campagne 1987 (Dezilleau et Sailland 1988).

Le PACILSS (1988) a mesuré un temps de travail de 7,5 heures par m³ de pierres mises en place, ce qui correspond à 210 jours par digue, soit 140 jours par ha. Sur la base des données de l'AFVP (Dezilleau et Sailland 1988), il a été calculé qu'environ 10 heures de travail étaient nécessaires par m³ de pierres, ce qui revient à 280 jours par digue moyenne, ou encore à 190 jours par ha. Ces données tiennent compte de tous les travaux (ramassage, transport par camion, tracé des courbes de niveau et confection de la digue).

La durée du travail dépend étroitement de "l'ardeur au travail" des paysans. Si le travail est fait par une famille ou un petit groupe d'entraide, il est de loin plus efficace que celui fourni par une collectivité nombreuse plus ou moins motivée.

L'AFVP et le CIEH ont mesuré les rendements des cultures en amont et en aval de cinq digues filtrantes pendant les hivernages 1986, 1987 et 1988. La culture était le sorgho et les mesures étaient faites aux environs de Rissiam, dans la province du Bam (zone Soudano-sahélienne), sur des champs de paysans, cultivés de façon traditionnelle, sans labour ni fertilisation. Les résultats de ces mesures sont présentés dans le tableau 3.2.3.

Tableau 3.2.3 : Rendements moyens de sorgho mesurés en aval et en amont des digues filtrantes (Vlaar et Wesselink 1990).

Année	Pluviométrie	Sites en aval des digues filtrantes	Sites en amont des digues filtrantes
1986	547 mm	1,8 t/ha	2,9 t/ha
1987	485 mm	1,0 t/ha	2,7 t/ha
1988	850 mm	1,0 t/ha	1,7 t/ha

En plus de l'amélioration observée sur les rendements, il y a l'effet lié à l'augmentation de la superficie cultivée en amont de la digue. Ces deux facteurs peuvent donner des récoltes entre 2 et 5 fois plus élevées par rapport à une situation sans digue filtrante. En année sèche, les récoltes sont mieux garanties, ce qui signifie une meilleure sécurité alimentaire au niveau du système de production paysanne.

3.2.7 - Traitements des ravines

Le lit d'une ravine peut se déplacer légèrement ou beaucoup, à l'occasion de chaque crue. Ceci peut engendrer beaucoup de problèmes. Des ravines menacent souvent des champs de cultures, mais parfois aussi des villages et des routes.

Pour fixer le lit d'une ravine, deux méthodes principales sont utilisées, à savoir :

- le barrage-seuil sur toute la largeur de la ravine, avec ou sans ouverture (déversoir) en son milieu, et
- la protection des talus des berges proprement dites.

Description

Les barrages-seuils sont le plus souvent réalisés en pierres. Quand il n'y a pas de déversoir, nous avons affaire à une digue filtrante, qui sert d'habitude à l'étalement des eaux de crue pour une culture du côté amont (voir 3.2.6). Si le terrain dans lequel le ravin s'est créé est pentu, ou s'il s'agit d'une ravine dans lequel doivent passer d'importantes quantités d'eau, il faut construire des barrages pourvus de déversoirs, afin de fixer le courant au milieu du lit. Pour les grandes ravines (grands débits), on choisit fréquemment des gabions comme matériau de construction et ceci bien que la construction de grands seuils en pierres sèches soit aussi possible ; on est en fait souvent limité par la dimension et le poids des pierres à mettre en oeuvre. Dans l'annexe 1, deux types de barrage-seuil sont décrits, un en gabions et l'autre en pierres libres, comme ceux appliqués au Niger pour le traitement des grandes et petites ravines.

Il convient de noter que, conscientes de l'importance et de l'urgence d'assurer rapidement la protection des ravines, les populations locales ont parfois réalisé des ouvrages utilisant des techniques traditionnelles. Celles-ci consistent essentiellement à mettre des pierres et des branches dans les thalwegs et petites ravines ou des obstacles simples en pierres, éventuellement renforcés par des pieux ou piquets en bois. L'efficacité de ces ouvrages est très rarement satisfaisante.

La protection des berges se réalise par la mise en place d'épis de pierres gabionnées ou par des pierres gabionnées posées contre la berge, ou encore par la plantation d'une couverture d'arbres ou d'arbustes sur les berges d'une ravine, afin de renforcer celles-ci avec leurs racines et protéger les rives par la création d'un milieu favorable à la croissance d'herbes. Les petites ravines (rigoles) sont traitées avec des pierres sèches, des bâtons (pieux) ou par une combinaison des deux.

Applicabilité

Les barrages-seuils sont applicables dans toutes les conditions où des ravines, en se déplaçant, menacent des terrains agricoles ou d'autres terrains ou équipements de valeur. La réalisation de ces ouvrages n'est pas liée à une zone agro-climatique, mais la faible valeur agricole des terrains limitrophes dans les zones sèches fait que ces ouvrages sont, sauf exception, rarement exécutés en zone sahélienne. Les barrages-seuils sont en principe applicables sur tous les types de sol (en respectant, bien sûr, des critères spécifiques pour les ancrages et la protection des berges).

Concernant la topographie, ces ouvrages sont exécutés surtout sur des terrains avec des pentes relativement fortes, qui sont les plus menacés par l'érosion en ravines et qui bénéficient donc, en priorité, de ce type d'ouvrages. Néanmoins, il arrive parfois que de larges lits mineurs traversent des zones de bas-fonds, où ils s'approfondissent et s'élargissent régulièrement. Comme ce phénomène intéresse des terres de haute potentialité agricole, ces lits mineurs sont souvent traités en priorité avec des ouvrages de traitement de ravines, et ceci malgré le fait qu'un aménagement à partir de l'amont vers l'aval soit préférable d'un point de vue purement technique (plus sûr et moins cher).

De même que pour les barrages-seuils, la protection des berges n'est pas limitée à une zone agro-climatique spécifique, à l'exception cependant de la protection végétale qui ne peut réussir que dans des zones assez humides (soudano-sahélienne). La protection par épis n'est applicable que dans le traitement de très grandes ravines (voire large thalweg et/ou rivière) où les barrages-seuils ne sont pratiquement plus applicables, compte tenu de leurs coûts d'exécution.

Coûts et bénéfices

Pour ce type d'ouvrage, il n'est pas possible de rapporter les coûts à un prix à l'hectare. Dans l'annexe 1, les coûts par m³ de pierres et de gabions sont données pour deux types de barrage-seuil.

3.3 - Mesures végétatives

3.3.1 - La végétation et l'érosion : quelques considérations générales

En ce qui concerne les potentialités de la strate végétale pour diminuer l'érosion, soit éolienne, soit hydrique, il y a trois considérations générales à prendre en compte :

1. En général, plus la végétation est étendue et proche de la surface du sol, plus celui-ci est protégé contre l'érosion. Une couverture directe du sol est donc plus efficace qu'une couverture par une strate arborée ou arbustive. C'est pourquoi la strate herbacée, le paillage, le "mulching", la présence d'une couche de litière, etc, sont des moyens très efficaces pour protéger le sol.
2. Plus la végétation est permanente, plus la protection du sol est garantie toute l'année. C'est surtout au début de l'hivernage que les pertes de sol par érosion sont les plus élevées. Il faut donc avoir des plantes pérennes, qui survivent pendant la saison sèche, pour avoir une protection du sol pendant toute l'année. Compte tenu de la première considération, les herbacées (graminées) pérennes sont les mieux adaptées.
3. Dans les zones sèches, l'eau est le premier facteur limitant la production primaire. Cependant, la disponibilité des éléments nutritifs en quantités assez faibles est un facteur à prendre en compte. Les strates herbacée et ligneuse entrent généralement en concurrence vis-à-vis de ces ressources naturelles limitées. Dans la plupart des cas, la stimulation d'une strate mène à une réduction de l'autre (Kessler et Breman, 1991).

Les effets de la végétation ligneuse sur l'érosion concernent principalement quatre processus, à savoir :

1. Les effets sur la force de la pluie

Dans ce contexte, il y a deux effets contradictoires. D'une part, la végétation, surtout les arbres et arbustes, brise la force des pluies. D'autre part, en cas de pluie, de grosses gouttes peuvent se former sur les feuilles, et leur force érosive sera plus forte que la pluie elle-même, quand elles tombent d'une grande hauteur. Le résultat de ces deux effets dépend de plusieurs facteurs tels que le type de feuillage et la hauteur de l'espèce ligneuse, ainsi que l'intensité de la pluie (Wiersum, 1986).

2. Les effets sur la force du vent

C'est d'abord la strate herbacée qui couvre et retient les sables mobiles. Une couverture complète du sol par la strate herbacée réduit l'érosion éolienne jusqu'à un niveau négligeable. L'effet d'une rangée d'arbres et/ou d'arbustes sur la diminution de la force du vent est ressenti à une distance des arbres qui correspond à environ cinq fois leur hauteur. Mais la rangée d'arbres doit être bien dense pour empêcher le vent de passer sous les arbres ou par les brèches. Il est probable que les arbres dispersés dans le paysage, comme on en rencontre presque partout dans les champs, jouent aussi un rôle assez efficace pour diminuer la force du vent à la surface du sol (Stigter, 1985).

3. Les effets sur l'infiltration de l'eau

Généralement, le sol sous végétation naturelle connaît un taux élevé de matière organique et une activité biologique qui améliorent sa structure (Wiersum, 1986 ; Young, 1989). Ceci favorise l'infiltration de l'eau dans le sol. De plus, les plantes pérennes, surtout les ligneux, créent des trous dans le sol par leurs racines, ce qui peut accélérer l'infiltration de l'eau. L'amélioration du sol par la végétation dépend de la déposition de litière et d'une décomposition de cette dernière qui ne soit pas trop perturbée. En cas d'exploitation fréquente et intensive de la litière (par exemple, le désherbage, le pâturage et le passage annuel des feux), une telle amélioration n'est pas possible. Il existe cependant plusieurs techniques culturales non-végétales pour améliorer l'infiltration de l'eau sur les champs agricoles sans arbres.

4. Les effets sur le ruissellement.

La végétation peut freiner la vitesse et la force de l'eau ruisselante en créant une barrière à celle-ci. Ainsi, une bande d'herbacées et/ou la présence d'une couche de litière diminuent l'érosion. L'effet sur le ruissellement semble plus important que les effets précédents, ce qui souligne l'importance d'une couverture directe du sol. Cette influence positive dépend largement du taux et de la fréquence de l'exploitation du terrain ; c'est pourquoi l'érosion dans une plantation d'arbres où l'on ramasse ou brûle les feuilles, est plus élevée que dans un champ en culture. Néanmoins le ruissellement et l'érosion sous végétation naturelle sont toujours moindre que dans les systèmes d'exploitation des terres comme la culture (Roose, 1981).

3.3.2 - L'utilisation de la végétation pour diminuer l'érosion hydrique

3.3.2.1 - La strate ligneuse

Dans la lutte contre l'érosion hydrique, les ligneux peuvent jouer un rôle direct et un rôle complémentaire. Les potentialités de leur rôle direct sont traités ci-avant. Leur rôle complémentaire concerne la stabilisation et le renforcement des structures anti-érosives, surtout celles en terre, comme les diguettes, les demis-lunes, etc (Kessler et Boni, 1991). Les plantes ligneuses peuvent être plantées en amont, en aval ou bien sur les diguettes. Le projet PAF au Yatenga recommande des plantes ligneuses dans un fossé en aval des diguettes en pierres. Le projet PAE au Yatenga propose des espèces ligneuses dans le fossé en amont des diguettes en pierres. La plupart des structures anti-érosives des sites aménagés par le FEER sont renforcées avec des plantes ligneuses en amont des diguettes en terre. Le Programme PACILSS préfère la plantation en amont les diguettes. Le projet PEDI à Kaya associe ses digues filtrantes avec deux rangées de ligneux en quinconce, en amont de l'ouvrage. Plus efficace que la plantation d'arbres le long d'un diguette, la plantation d'arbustes sous forme de haie vive, dense surtout près du sol, peut être réalisée. Pour améliorer la croissance des branches basses, il faut tailler ces arbustes. Une telle haie en amont des digues filtrantes retient les matières végétales (tiges, résidus de récolte, etc...) et contribue ainsi à protéger la digue (diminution de la vitesse de l'eau).

Au vu des considérations générales ci-dessus, les ligneux en amont des structures anti-érosives ne semblent pas être la mesure la plus efficace pour stabiliser ces structures et freiner l'érosion. Leur efficacité dans ce contexte dépend de plusieurs facteurs :

1. Le choix de l'espèce (voir annexe 2)

Pour la protection des ouvrages anti-érosifs on utilisera des espèces :

- non appréciées par le bétail
- épineuses
- ayant une ramification dense et basse, donc des arbustes
- ayant de la litière améliorante.

2. L'orientation et l'écartement

Les espèces ligneuses doivent être plantées en amont, et à 50 cm l'une de l'autre pour former une haie dense qui freine l'érosion et donc protège l'ouvrage. Deux rangées en quinconce sont encore plus favorables. La plantation sur la diguette semble inefficace. Sur les sols lourds et dans les zones humides, il pourrait y avoir des problèmes d'asphyxie si l'eau stagne trop longtemps. Dans ce cas, il faut procéder à une plantation en aval.

3. L'entretien

Les arbustes doivent être taillés, au moins une fois par an (de préférence avant l'hivernage), pour former une haie dense. Lorsque les plantes sont trop développées en hauteur, on ne peut plus obtenir une haie basse et dense qui soit efficace contre l'érosion. Les branches taillées sont placées sous les arbustes pour fermer les brèches, pour améliorer la structure du sol et l'infiltration de l'eau. L'excédent des branches peut être utilisé comme bois de chauffe. L'entretien concerne aussi la protection contre le bétail. Bien qu'on utilise des espèces peu appréciées, le manque de fourrage peut amener les animaux à brouter ces arbustes. Le broutage des tiges et des feuilles diminuera aussi la vitalité de la haie.

3.3.2.2 - Les herbacées

La couverture directe des structures anti-érosives par des espèces herbacées est une méthode efficace et durable pour leur stabilisation. Les herbes pérennes sont préférées parce que leurs systèmes racinaires restent dans le sol toute l'année. L'espèce *Andropogon gayanus* est la plus répandue, du fait aussi que la paille en est très recherchée, par exemple pour faire des nattes. Les lignes d'*Andropogon gayanus*, qu'on peut souvent observer comme délimitations des champs sur le Plateau Central du Burkina Faso, servent elles-mêmes de constructions anti-érosives (Kessler, 1991). On peut souvent observer le dépôt de sol en amont de ces lignes de graminées. L'espèce pérenne *Vetiveria nigricans* est parfois utilisée pour protéger et renforcer les berges des cours d'eau, mais peut également être utilisée pour la protection des ouvrages en terre, ou comme bande végétative dans ou autour des champs de culture.

Le PACILSS a mesuré l'effet de différents types de couverture du sol sur la stabilisation des diguettes au Burkina Faso. Une bande d'herbes de 50 cm en amont et 50 cm en aval de la diguette semble être la plus efficace pour stabiliser les diguettes en terre. L'épandage des branches mortes ou le paillage sur la diguette est assez efficace, mais évidemment moins durable. L'installation d'*Andropogon gayanus* se fait par semis ou par boutures déchirées d'une plante mère. La disponibilité en eau nécessaire à la survie de cette espèce sera d'au moins 600 mm (PACILSS 1988).

Il est évident que la végétalisation des diguettes en terre est plus facile avec une pluviométrie élevée. Une condition essentielle est pourtant la protection contre le (sur-)pâturage des herbes (divagation des animaux). De même, les feux sont un facteur de destruction de la strate herbacée. Il est extrêmement important de conserver la couverture de la strate herbacée jusqu'au début de l'hivernage puisque les premières pluies sont les plus érosives.

Au Mali-sud les espèces *Euphorbia balsamifera* et *Jatropha curcas* sont beaucoup utilisées dans la lutte anti-érosive. Vulgarisées par la CMDT (Projet Lutte Anti-Erosive), ces espèces sont installées sur les limites de parcelles de culture et en amont des champs. Toutes ces rangées freinent le ruissellement et diminuent la force du vent. La popularité de ce type d'arbustes doit être attribuée à :

- La facilité de sa multiplication et de son installation (en saison sèche),
- Le fait qu'il n'est pas mangé par le bétail,
- Sa forme de croissance nécessitant peu d'entretien et permettant la croissance de plantes herbeuses en-dessous, qui constitue en fait la barrière la plus importante pour l'eau de ruissellement.

Dans cette région, les bandes végétales sur les limites des parcelles sont préférées aux bandes orientées suivant les courbes de niveau, entre autres pour faciliter le travail du sol qui est le plus souvent mécanisé (Heijkoop et al. 1991).

Une technique efficace et facile à appliquer sur des terrains de jachère qui sont défrichés pour les remettre en culture, consiste en des bandes de végétation naturelle plus ou moins perpendiculaires à la pente. En défrichant, on laisse tous les 30 à 50 m une bande d'une largeur de 3 à 5 m. Cela présente un inconvénient : la perte de superficie, qui est de l'ordre de 10 %. Certains paysans craignent aussi que ces bandes soient une source de mauvaises graines et un refuge pour les oiseaux et rongeurs. Au Burkina Faso, ce système a surtout été introduit dans le Centre-Sud du pays (région de l'ex-AVV). En raison de la pression démographique, les paysans ont tendance à graduellement défricher ces bandes de végétation.

3.3.3 - L'utilisation de la végétation pour diminuer l'érosion éolienne

Dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne, l'érosion éolienne n'a pas des effets aussi destructeurs et visibles que l'érosion hydrique. Les vents les plus à craindre (l'harmattan) soufflent à un moment où il n'existe pas de cultures à protéger, à l'exception des cultures irriguées. Mais en saison sèche, l'harmattan peut causer des pertes de sol importantes, surtout dans les champs qui restent souvent sans aucune couverture du sol.

Dans la zone sahélienne sur les sols sablonneux, l'érosion éolienne entraîne l'ensablement des champs et des villages. Il existe plusieurs techniques pour fixer les dunes vivantes, en utilisant d'abord des palissades pour ralentir la vitesse du vent et les mouvements de sable, puis la plantation en lignes d'arbres et arbustes adaptés au climat sec, pour protéger les champs, villages, routes, etc.

Dans les zones plus humides, les sols sablonneux sont rares et la couverture de la végétation naturelle est généralement suffisante pour protéger le sol contre l'érosion éolienne. Les sols limoneux dégradés sont protégés contre l'érosion éolienne par une croûte superficielle.

Pour diminuer l'érosion éolienne, il faut éviter le déboisement sur de grandes superficies et conserver une certaine densité d'arbres, soit dispersés sur le champ, soit implantés autour. Les arbres dans la nature contribuent à une certaine stratification de la végétation, ce qui constitue une barrière et provoque une diminution de la force du vent et donc la conservation du sol. La densité d'arbres nécessaire pour minimiser l'érosion éolienne n'est pas déterminée par des recherches fondamentales, mais on applique généralement une densité de 20 arbres adultes et 40 jeunes arbres par ha (Kessler et Boni, 1991). Cette densité correspond à des instructions au Burkina Faso, qui indiquent la densité d'arbres à sauvegarder lors des nouveaux défrichements. Les arbres sauvegardés sur les champs sont toujours ceux qui fournissent des produits recherchés, comme le karité (fruits, amandes), le néré (fruits, graines), le baobab (feuilles) et le raisinier (fruits). *La Faiddherbia albida* produit du fourrage pour le bétail ; c'est ainsi le seul arbre qui perd ses feuilles en hivernage et de ce fait ne gêne pas les cultures sous son houppier.

3.3.4 - La production de bois

La crise énergétique se existe partout dans les pays sahéliens. La disponibilité élevée d'eau en amont des structures anti-érosives peut être utilisée pour produire du bois en plantant des essences à croissance rapide. La présence d'une structure qui augmente la disponibilité en eau pour les jeunes plants augmente considérablement leur taux de survie. C'est généralement dans cet esprit de reboiser pour produire du bois que les ligneux sont plantés le long des structures anti-érosives, même si l'on veut bien croire que cela contribue également à la stabilisation de ces ouvrages. On remarque une préférence à planter des essences à croissance rapide, parfois aussi des arbres fruitiers ou fourragers, et un manque d'entretien pour la formation d'une haie. Ces expériences montrent que le rôle producteur des ligneux est généralement considéré comme le plus important.

Il est bien connu que l'*Eucalyptus* a un effet négatif sur l'érosion sur place, à cause du faible niveau de décomposition de sa litière et de sa forte consommation en eau, ce qui empêche le développement de la strate herbacée. Sous une plantation d'*Eucalyptus*, le sol est souvent (presque) nu. Les essences à croissance rapide ont toujours des racines traçantes, ce qui entraîne une forte concurrence avec la strate herbacée ou les cultures. Ces espèces ne sont pas à recommander pour l'agroforesterie.

3.3.5 - Conclusions

Avant de planter des ligneux à tel ou tel endroit, il faut bien déterminer l'(es) objectif(s) recherché(s). La production de bois à court terme et la conservation des eaux et des sols ne sont généralement pas conciliables. Les essences à croissance rapide ne contribuent pas au renforcement des ouvrages anti-érosifs. Dans ce cas, le renforcement des diguettes et des autres ouvrages en terre reste nécessaire. Pour cela, l'enherbement, de préférence par les graminées pérennes, est une méthode efficace. L'installation et l'entretien d'une haie vive peut, elle seule, être assez efficace contre l'érosion hydrique, mais elle exige beaucoup de soins. Pour diminuer l'érosion éolienne, on peut se contenter du maintien d'une certaine densité d'arbres sur l'ensemble des champs, les arbres étant dispersés sur ces derniers, ou bien plantés autour comme brise-vents ou bandes-boisées. Les essences utilisées produisent également plusieurs produits recherchés. Il faut toutefois tenir compte du fait que chaque arbre utilise de l'eau et des éléments nutritifs qui seraient par ailleurs disponibles pour les herbes.

L'utilisation des végétaux dans la lutte anti-érosive s'impose quand les matériaux pour la construction des ouvrages durables (tel que des pierres) sont ou deviennent rares, ou quand la main d'oeuvre pour la construction de tels ouvrages n'est pas disponible.

La végétalisation, au fur et à mesure qu'on descend vers le sud, devient de plus en plus facile et adaptée pour freiner l'érosion et protéger le sol. Ailleurs, la végétalisation pourrait passer par une phase de stabilisation par des ouvrages, qui pourraient être déplacés une fois que les plantes se sont bien installées.

Pour une description des espèces ligneuses les plus utilisées et leurs propriétés, voir annexe 2 : propriétés et utilisation possible des espèces ligneuses des zones sahélienne et soudanaise.

4 - APPLICABILITE, EFFICACITE ET CONTRAINTES

4.1 - Applicabilité et efficacité

4.1.1 - Typologie des ouvrages selon leur applicabilité

Pour l'établissement d'une typologie des ouvrages selon leur applicabilité, les critères suivants ont été pris en considération :

- 1) applicabilité dans les différentes zones agro-climatiques (zones Sahélienne et Soudanienne).
- 2) applicabilité sur les différents types de sol (sols argilo-limoneux, sablo-limoneux et sableux).
- 3) applicabilité sur des sols encroûtés/colmatés en surface.
- 4) applicabilité sur des terrains avec des pentes fortes ou faibles.

Les résultats de l'analyse, suivant les critères précités, des ouvrages décrits au chapitre 3 sont présentés sous la forme du tableau 4.1.1 (typologie des ouvrages selon leur applicabilité). Il faut noter que la liste des ouvrages n'est pas exhaustive : on peut en effet apporter des modifications aux types d'ouvrages mentionnés qui font que leur applicabilité change, comme par exemple la construction de déversoirs en pierres sur des diguettes en terre. On peut également penser à des combinaisons de plusieurs ouvrages sur un même terrain.

Tableau 4.1.1 : *Typologie des ouvrages selon leur applicabilité*

Dispositif	Fonction (1)	Adaptabilité agro-climatique			Adaptabilité au type de sol				adaptabilité à topo	
		zone sahélienne	zone soudano-sahélienne	zone soudano-sahélienne	sol argilo limoneux guinéenne	sol sablo-limoneux	sol sableux	sols encroûtés/colmatés	pentés fortes	pentés faibles en surface
Sous-solage	CE	-	++	+	++ (4)	+	-	++ (4)	+	++
Zey	CS/CE/CR	+/-	++	-	+	++	-	++	+	+
Demi-lune	CS/CR	++	+	-	+	++	-	+	+	++
Diguettes en terre	CS/CE	+	++	-	+	++	-	+(5)	-	++
Fossés ados	CS/CE/CR	+	++	+(3)	+	++	-	+(5)	+(3)	++
Cordons de pierres	CS/CE	-	++	+	++	++	+	+	+	++
Digue filtrante	CS/CR (2)	+	++	+	++	++	+	+	-(6)	++ (6)
Traitement de ravine / seuil	CS	+	++	++	+	++	++	+	+	+
Bande végétative	CS	-	+	++	+	+	+	+(5)	+	+

Légende : ++ très adapté
+ applicable
- pas adapté

(3) à condition que le fossé ait une pente permettant à l'eau excédentaire d'être évacuée (drainage)

Notes : 1) fonction :

CS = conservation du sol contre l'érosion hydrique
CE = conservation de l'eau
CR = collecte des eaux de ruissellement
EE = conservation du sol contre l'érosion éolienne

(4) le sous-solage ne donne qu'un effet temporaire et doit être entretenu par la suite par un labour annuel assez profond

(5) seulement après sous-solage

2) la digue filtrante a également comme objectif la collecte des transports solides (sédimentation)

(6) la pente longitudinale du thalweg/bas fond ne doit pas être forte

4.1.2 - Typologie des ouvrages suivant leur évaluation technique.

L'évaluation technique des ouvrages porte sur les aspects suivants :

- l'effet anti-érosif
- l'effet sur la conservation des eaux
- l'impact sur la production végétale
- la durée de vie
- la compatibilité des aménagements réalisés avec la possibilité de travaux cultureux mécanisés.

Les résultats de cette analyse sont présentés ci-après dans le tableau 4.1.2. Il faut noter que l'aspect "durée de vie" d'un ouvrage est étroitement lié à son entretien, et que celui de l'impact sur la production est associé aux bénéfices obtenus. Ces aspects sont discutés plus en détail aux paragraphes suivants.

Concernant les effets anti-érosifs et de conservation de l'eau, des données quantitatives ne sont pas disponibles pour tous les ouvrages. Cela est lié au fait qu'il est difficile de les mesurer, raison pour laquelle ce n'est que dans les projets de recherche que des mesures de transports solides et de ruissellement ont été faites. Celles-ci concernent des sites avec des diguettes en terre ou des fossés ados (ces ouvrages ayant pratiquement le même effet), des sites avec des murets ou cordons pierreux, et des sites où l'on a pratiqué différents travaux du sol, souvent en combinaison avec un des types d'ouvrages mentionnés. Le nombre de sites de recherche étant limité, il faut encore prendre garde à ne pas généraliser les résultats obtenus, compte tenu des spécificités des sites⁽¹⁾, mais aussi compte tenu de l'état d'entretien des ouvrages, qui est bon sur un site de recherche, mais qui sera différent en milieu paysan, surtout après quelques années de fonctionnement.

Pour les diguettes en terre isohypses, on a trouvé à Allokoto, Niger, que leur impact sur l'érosion et le ruissellement était très grand : réduction des deux phénomènes de 95 % par rapport à la parcelle-témoin : en moyenne, l'érosion passant de 10 à 0,5 t/ha et le ruissellement de 20 à 1 % de la précipitation.

Pour les murets et les bandes d'Andropogon, leur impact réduisait l'érosion et le ruissellement à 20 % des valeurs mesurées sur la parcelle-témoin. Mais pour les trois parcelles traitées, une partie de la réduction de l'érosion et du ruissellement était à attribuer au travail du sol (binage et billonnage), appliqué en même temps (Delwaulle 1973)..

Pour les diguettes en terre divergentes (pente 0,2 %), on a trouvé à Gampela, Burkina Faso, que leur impact sur l'érosion et le ruissellement était assez réduit (moins de 30 % de diminution en moyenne par rapport à la parcelle témoin, l'érosion passant de 4,7 t/ha à 4,4 t/ha et le ruissellement de 24 à 16 % de la précipitation). L'application de billons cloisonnés, par contre, combinés avec les mêmes diguettes, diminuait le ruissellement jusqu'à plus de 80 % des valeurs de la parcelle-témoin, tandis que l'érosion était réduite d'à peu près 50 % (CTFT 1973).

En ce qui concerne les cordons de pierres, une première analyse des résultats des recherches réalisées à Namsiguia, Burkina Faso, permet de dire que ce dispositif avait diminué le ruissellement de 7 à 5 % de la précipitation annuelle, et l'érosion de 12 à 3 t/ha (Vlaar 1990). Les résultats sont provisoires et ne tiennent pas compte de la composition des sédiments retenus par les dispositifs anti-érosifs ; il est évident qu'une grande partie des particules les plus fines et fertiles continuent à être érodées.

En ce qui concerne les ouvrages sur lesquels il n'y a pas eu de recherches détaillées sur leur impact sur l'érosion et le ruissellement, ces impacts ont été estimés à partir des expériences plutôt qualitatives menées sur le terrain. Concernant les critères d'applicabilité, les éléments traités au chapitre 3 sont repris dans le tableau 4.1.2.

Note (1) : Pour les caractéristiques des sites de recherche mentionnés, voir 2.3

On a inclus l'aspect compatibilité avec un travail mécanisé du sol parce qu'il nous a paru important de parler de cette question à une époque où l'intensification de l'agriculture en général est envisagée (voir 4.5).

Tableau 4.1.2 : Typologie des ouvrages suivant leur évaluation technique

dispositif	effet anti-érosif	effet de conservation de l'eau	impact sur la production végétale	durée de vie	compatibilité avec une mécanisation du travail du sol
sous-solage	+/-	+	++	A/DC	oui
zay	+	+	++	A	non
demi-lune	+	++	+ / ++	DC (2)	non
diguette en terre	+ / -(1)	+(4)	+ / -(1)	DC (2)	variable (3)
fossé ados	+	++ (4)	+	SP (2)	oui
cordons de pierres	++	+	+	SP	variable (3)
digue filtrante	+	+	+ / ++	SP	oui
traitement de ravine seuil	++	+	0	SP (1)	-
bande végétative	+	0	+	DC/SP	oui

légende : ++ effet prononcé
 + effet assez réduit
 0 pas d'effet
 - effet négatif

: SP - ouvrage semi-permanent
 : DC - durée de vie courte, mais effet résiduel pendant plusieurs années
 : A - travaux initiaux lourds à entretenir annuellement

notes : 1) dépend fortement de la qualité de l'ouvrage
 2) dépend fortement de l'entretien
 3) si les cordons sont trop irréguliers ou trop rapprochés (ce qui est le cas pour des terrains pentus), le travail mécanique des sols est impossible.
 4) L'effet de conservation de l'eau des diguettes et fossés ados est positif dans le cas de diguettes ou fossés isohypses. Cet effet est bien moindre si ces structures sont divergentes (avec une pente longitudinale).

Puisqu'on trouve un grand nombre de différences spécifiques entre le travail du sol et les ouvrages durables, les résultats d'analyses de travail du sol sont présentés sous forme d'un tableau synoptique (tableau 4.1.3) proposé par Nicou et Charreau (1985). En ceci, les caractéristiques les plus importantes par rapport à la CES sont mentionnés.

4.2 - Ressources nécessaires

Introduction

Indépendamment de la nature des terrains à traiter et de la localisation de ceux-ci, l'exécution des travaux de CES est étroitement liée à différents facteurs, à savoir notamment :

- la disponibilité locale des ressources, comme la main-d'oeuvre, les matériaux, les outils (matériels) et le savoir-faire de la population.
- la motivation des villageois qui doivent participer à la réalisation des aménagements et à leur entretien.
- l'intérêt économique des réalisations entreprises, c'est-à-dire le rapport coûts/bénéfices.

tableau 4.1.3 : Effets des différentes techniques et problèmes posés par leur application. (Nicou, 1985)

	scarifiage en sec	sous- solage en sec	labour à plat	labour en billons	buttage		buttage et cloisonnement		mulch pailleux
					sans labour	avec labour	sans labour	avec labour	
améliore l'infiltration diminue le ruissellement	+	++	++	++	++	++	++	+++	+++
facilite l'utilisation de l'eau stockée par le sol	+	++	+++	+	-	++	-	++	-
permet de conserver l'eau infiltrée	-	-	++	-	-	-	+	++	++
problèmes posés par l'application de la technique	force de traction désherbage	nécessité grosse motorisation coût pérennité faible	équipement culture attelée période de réalisation	à réaliser perpendiculaire à la pente problème du semis mécanique temps de travail réalisé à la main	les lignes de semis doivent être perpendiculaires à la pente accidents sur les racines date de buttage en zone sèche temps de travail		cloisonnement: temps de travail pour cloisonner		disponibilité en paille désherbage semis mécanique

Pris isolément, chacun de ces facteurs peut constituer une contrainte pour la réalisation d'un ouvrage ou d'un aménagement global ; le plus souvent, cependant, on a affaire à une combinaison de ces facteurs qui détermine soit le succès, soit l'échec des projets. Les différents facteurs (contraintes) susceptibles de se présenter seront traités d'abord séparément, pour tenter, par la suite, de comparer les ouvrages selon l'importance relative des facteurs intervenant dans leur réalisation.

4.2.1 - Main-d'oeuvre et mécanisation

Généralités

A l'exception des travaux de sous-solage en terrain "dur" (spécialement pour le sous-solage réalisé au cours de la première année), tous les autres travaux de CES/DRS peuvent être réalisés manuellement par une main-d'oeuvre locale. La réciproque n'est pas valable car tous les travaux manuels ne peuvent pas être exécutés mécaniquement. Exemple : pose de pierres, confection des gabions et divers autres travaux à réaliser sur des champs localisés sur des pentes raides ou des endroits inaccessibles aux gros engins.

Le niveau de mécanisation des projets étudiés varie considérablement. Le projet PIK au Niger par exemple, applique une mécanisation maximale, tandis que d'autres projets essaient de réaliser leurs ouvrages essentiellement avec de la main-d'oeuvre. Au Burkina Faso, il n'y a presque plus de projets qui utilisent une main-d'oeuvre salariée. Au Niger, par contre, pratiquement tous les travaux sont réalisés à l'aide de main-d'oeuvre rémunérée sous forme de vivres PAM.

Les réalisations mécanisées et manuelles ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Après avoir comparé les deux moyens d'exécution, nous résumons ci-après les éléments en faveur ou en défaveur de la mécanisation.

Eléments favorables à la mécanisation :

- Les aménagements sont réalisés plus rapidement. Cela augmente la motivation des paysans parce qu'ils peuvent rapidement "voir" l'ouvrage qu'ils construisent, et cela les motive pour achever celui-ci rapidement.
- Les travaux pénibles sont allégés, ce qui motive également les gens.
- La disponibilité de la main-d'oeuvre est limitée. Pendant l'hivernage, l'agriculture absorbe toute la main-d'oeuvre ; les travaux de CES/DRS doivent ainsi être exécutés pendant la saison sèche. Pendant cette saison cependant, dans bien des cas, beaucoup de (jeunes) gens partent en exode ou vont chercher de l'or sur les sites aurifères. Le Ramadan limite aussi la disponibilité de la main-d'oeuvre : la durée d'une journée de travail peut être limitée à trois heures durant cette période. En appliquant un certain degré de mécanisation, par exemple la mise à disposition d'un camion pour transporter des pierres, on rend possible l'exécution des aménagements ; sans cette mécanisation, la quantité de main-d'oeuvre nécessaire peut être trop grande pour pouvoir être rassemblée.

Eléments défavorables à la mécanisation :

- Les gens se sentent moins concernés par les travaux exécutés mécaniquement, ce qui peut avoir une influence néfaste sur l'entretien des aménagements.

- Les engins, les pièces de rechange et le carburant doivent être importés ; cela implique une certaine dépendance vis-à-vis de l'extérieur concernant l'approvisionnement. Du point de vue de l'économie nationale, les importations ne sont pas à recommander.
- On a besoin d'ouvriers spécialisés et salariés, qui viennent de l'extérieur des villages dans lesquels les travaux sont à réaliser.
- Pour l'extension et la diffusion des ouvrages, on a toujours besoin d'une aide extérieure à la région.

Reij (1989) constate que l'assistance des projets restera toujours faible par rapport à la quantité de travail à faire à grande échelle, et que la seule façon d'obtenir un impact considérable serait que chaque paysan aménage chaque année, sans utilisation de gros moyens, une partie de ses propres champs.

Substitution des camions par des charrettes

En plus de tous les facteurs mentionnés ci-dessus, il y a le facteur coût. Le transport des pierres constitue souvent une partie considérable des frais d'un aménagement s'il est assuré par camion. Le transport de pierres par camion peut être remplacé par le transport par charrette, par brouette, par bicyclette ou même sur la tête. Si les pierres se trouvent à plus de 1 km du site, seuls les transports par charrette ou par camion sont envisageables. Une comparaison des coûts du camion et des charrettes est donnée dans le tableau ci-dessous. Par manque de données sur le transport par charrette, on a estimé la vitesse d'un âne à 3 km/h, le contenu d'une charrette à 0,3 m³ (500 kg), et le prix de location de la charrette à 700 FCFA par jour. Le coût de la main-d'oeuvre a été estimé à 510 FCFA par jour⁽¹⁾. Les calculs ont été faits pour des distances de 1, 2,5 et 5 km entre l'aménagement et le site où l'on trouve les pierres ; pour une main-d'oeuvre salariée et pour une main-d'oeuvre non salariée. Pour le camion, les données suivantes sont prises comme point de départ : vitesse de 20 km/h en moyenne ; contenu du camion de 4,5 m³ ; prix du camion de 30 000 FCFA par jour (chauffeur inclus) ; temps de déchargement 5 minutes ; temps de chargement 15 minutes pour une situation normale et 40 minutes si les pierres sont très grosses (il faut deux personnes pour jeter une pierre dans le camion). On suppose que les pierres sont préalablement mises en tas.

On constate que, pour des pierres qui ne sont pas trop grosses, on a besoin d'environ 50 charrettes pour atteindre le volume transporté par jour par un camion (ce rapport varie avec la distance de transport).

On constate également que le prix d'un m³ de pierres transportées par charrette, à l'exception des faibles distances (moins d'un km), est plus élevé. Lorsque les pierres sont trop grosses pour être jetées dans le camion par une seule personne, la charrette s'avère moins chère (si l'on ne paye pas un salaire pour le transport).

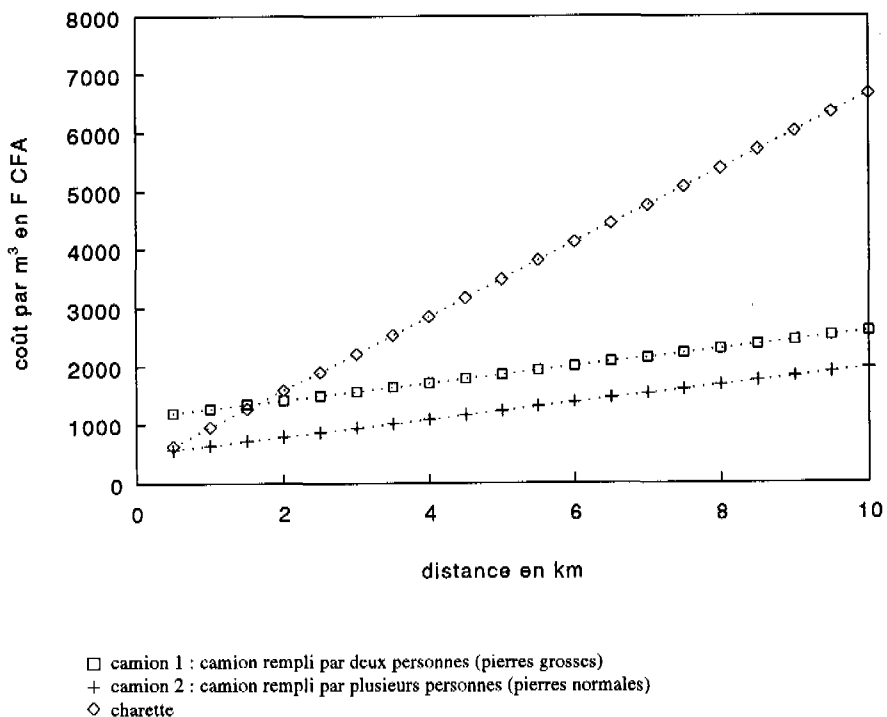
note : (1) Dans les villages voisins de Rissiam, Province du Bam, Burkina Faso, lorsqu'un membre d'un groupement villageois ne participe pas aux travaux collectifs, il doit verser à la caisse du groupement une somme d'environ 500 FCFA par journée d'absence. Au Niger, la rémunération des travailleurs aux ouvrages sous forme de vivres PAM a une contre-valeur de 510 F CFA.

Tableau 4.2.1 : Comparaison entre l'utilisation de charrettes et de camions

		m ³ par jour			coût par m ³ (FCFA)		
		1	2,5	5	1	2,5	5
CHARRETTE	distance (km)						
	sans salaire	1,8	1,0	0,6	390	700	1165
	avec salaire	1,8	1,0	0,6	955	1910	3500
CAMION situation normale	sans salaire	63	45	32	475	665	935
	avec salaire	63	45	32	645	870	1240
CAMION grosses pierres	sans salaire	32	27	22	935	1110	1365
	avec salaire	32	27	22	1265	1490	1860

La partie "avec salaire" de ce tableau est visualisée sous forme de graphique (figure 12), dans lequel le coût de transport par m³ de pierres est présenté en fonction de la distance. Pour des raisons de lisibilité du graphique, on a comparé la capacité de 10 charrettes à celle d'un camion (voir figure 12).

Figure 12 : Coût de transport des pierres par camion et par charrette, en fonction de la distance de transport (prix d'un jour de main-d'oeuvre: 510 FCFA)



Le problème du chargement des pierres lourdes peut être résolu grâce à l'utilisation des camions multi-bacs. Ils sont beaucoup plus bas, ce qui facilite le chargement. Au Burkina Faso, quelques projets les utilisent ; on a pu constater que dans ce cas la vitesse de chargement est augmentée : le camion n'a pas besoin d'être immobilisé pendant le temps de chargement, et le coût du transport en est diminué.

La mise à la disposition des paysans de charrettes pour le transport des pierres présente un avantage : de cette façon les paysans peuvent travailler quand ils veulent, indépendamment des moyens du projet. La charrette peut par la suite être utilisée pour des travaux d'entretien, mais également pour le transport d'autres denrées (récolte, fumier, etc).

Substitution des engins par la main-d'oeuvre

Comme on a comparé le transport par camion à celui par charrette, on peut aussi faire des calculs concernant la substitution des engins par de la main-d'oeuvre. Les diguettes en terre (banquettes) sur les glacis du Projet Intégré Keita au Niger ont été choisies pour cet exemple, parce que ce projet utilise au maximum les engins ; il est ainsi intéressant de comparer une situation dans laquelle l'ouvrage est réalisé par de la main-d'oeuvre, avec la situation réelle du PIK. Les diguettes réalisées de façon mécanisée ont besoin d'un sous-solage, afin que le sol ne soit pas trop dur pour la niveleuse chargée de la mise en place des diguettes. Ensuite, il y a deux passages de tracteur avec une charrue, suivis par un compactage par tracteur. Lorsque les diguettes sont réalisées d'une façon manuelle, le sous-solage n'est pas nécessaire. Le creusement d'un fossé et la mise en place de la diguette sont faits en même temps. On réalise ensuite le compactage à la dame.

Dans cette évaluation, on ne prend pas en considération la part du travail qui est exécutée de la même façon, que ce soit à la main ou mécaniquement (le revêtement par exemple). A noter que le temps de travail manuel est estimé sur la base d'une comparaison avec le temps de travail nécessaire à la confection manuelle d'un fossé ados. La main-d'oeuvre est présentée sous forme de travail rémunéré, du fait qu'au Niger, presque tous les projets rémunèrent leur main-d'oeuvre (avec des vivres PAM, contre-valeur : 510 FCFA/jour). Si l'on veut faire la comparaison avec une main-d'oeuvre non salariée, il suffit de soustraire du total le montant de la rémunération. Les temps de travail et les coûts du travail à la machine ou à la main sont donnés dans les tableaux ci-après :

Tableau 4.2.2 : Temps de travail nécessaire à l'aménagement de diguettes en terre en fonction de l'utilisation ou non de machines

	Temps de travail (jours/ha)		
	confection (+ sous-sol.)	compactage	total
travail mécanisé	0,18	0,07	0,25
travail manuel	35	60	95

Tableau 4.2.3 : Coût à l'hectare des ressources utilisées pour l'aménagement de diguettes en terre en fonction de l'utilisation ou non de machines

	COUT PAR HA en 1000 FCFA				
	Matériel mécanisé	Petit matériel	Main-d'oeuvre professionnelle	Rémunération	Total
Travail mécanisé	67	0	13	0	80
Travail manuel	0	0,5	7	48,5	56

On peut noter que le rendement des machines est environ 400 fois celui d'un ouvrier. Le prix d'un aménagement fait mécaniquement est plus élevé que le prix d'un aménagement fait à la main, (80 000 et 56 000 FCFA/ha respectivement). Pour obtenir le prix réel de la réalisation d'une diguette en terre, il faut ajouter les coûts de revêtement et des plantations.

4.2.2 - Matériaux

Les matériaux qui sont utilisés pour la confection des ouvrages se trouvent presque tous sur place. Il s'agit de terre pour les diguettes en terre et de pierres pour les ouvrages en pierres. Les pierres ne se trouvent pas toujours facilement dans les champs ; elles sont surtout ramassées sur les collines et plateaux, à une distance des sites pouvant atteindre 6 km. Le traitement des grandes ravines nécessite des matériaux qui ne se trouvent pas sur place ; des gabions sont nécessaires. Ceux-ci sont généralement fabriqués artisanalement et localement par des forgerons. Au Niger, ils sont aussi fabriqués en usine (à Tahoua, ACREMA). Le coût d'un gabion de 1 m³ varie entre 5 000 et 10 000 FCFA (9 800 FCFA au Niger). Les fils de fer sont toujours importés, mais il n'est pas fréquent que des cages métalliques préfabriquées soient importées.

Les tiges de mil et les piquets/pieux pour les fascines et les claies se trouvent dans les villages. Les pépinières ont besoin de matériaux en provenance de l'extérieur : engrais, pesticides, insecticides, fongicides et sacs de plastique. La protection des arbres demande soit un grillage (fabriqué par ACREMA à Tahoua, ou artisanalement à l'aide d'un métier dans les villages), soit des réalisations en bois (produits locaux) ; seuls les fils de fer sont importés.

4.2.3 - Outillage

Toutes les techniques nécessitent des outils. Pour les cordons de pierres, un niveau à eau suffit si les pierres ne se trouvent pas trop loin. Le niveau à eau est utilisé pour tracer les courbes de niveau. Cet outil se compose d'un tuyau transparent de 10 à 25 m, dont les extrémités sont attachées à deux pièces de bois. Ces pièces portent des graduations. Le niveau à eau peut être fabriqué localement et le prix du matériel nécessaire s'élève à environ 15 000 FCFA. Les paysans apprennent facilement à l'utiliser (quelques matinées suffisent pour qu'ils puissent matérialiser, par eux-mêmes, les courbes de niveau sur le terrain).

Le zay et les diguettes en terre peuvent être exécutés avec une pioche, une pelle, une daba (houe), une dame, une barre à mine et un niveau à eau. Tous ces outils peuvent être fabriqués localement. La construction des demis-lunes demande un compas de 2 m (fabriqué localement) et une corde.

Pour les autres ouvrages, on a très souvent besoin de brouettes, de charrettes ou d'un camion pour le transport des pierres. Les brouettes et les charrettes sont fabriquées au Burkina Faso et au Niger (ACREMA, Tahoua), mais le camion doit être importé. Le sous-solage est réalisé par un bulldozer ou un tracteur muni d'un sous-soleur à trois ou cinq dents (matériels importés).

Les outils sont toujours mis à la disposition des paysans par les projets. Quelques-uns leur laissent les outils, tandis que d'autres les récupèrent après les réalisations. Certains projets peuvent également demander une (petite) cotisation pour l'utilisation du petit matériel. Cette cotisation est versée dans une caisse qui peut servir aux réparations et au remplacement des outils.

4.2.4 - Savoir-faire

Pour les ouvrages traditionnels (zay, diguettes en pierres, enherbement avec l'Andropogon), les paysans disposent déjà du savoir-faire. Ces techniques peuvent être facilement mises en oeuvre par les paysans, qui peuvent assimiler aisément la technique d'exécution aussi bien que les contraintes d'entretien; en effet, ces techniques simples leur sont familières, ce qui facilite le travail des projets. Les techniques purement traditionnelles peuvent néanmoins être améliorées : on peut, par exemple introduire l'utilisation du niveau à eau pour confectionner des diguettes en pierres, ce qui permet de garantir leur implantation suivant les courbes de niveau, et donc d'améliorer leur fonctionnement et diminuer le risque de rupture.

Pour les ouvrages construits selon des techniques nouvelles, le savoir-faire doit être apporté aux paysans. Cela demande la mise en place d'un système de sensibilisation et de formation. Les traitements de ravines et les diguettes en terre nécessitent une grande précision pendant leur réalisation et exigent, par conséquent, un suivi technique assidu. Ce suivi est en général assuré par les encadreurs ; quelquefois, la présence d'un spécialiste du projet est nécessaire. La transmission des connaissances et du savoir-faire aux paysans est assurée par les formateurs/encadreurs des projets. Dans tous les projets, quelques villageois sont formés pour remplacer le formateur en cas d'absence et après son départ, une fois l'aménagement achevé. Dans d'autres cas, comme au PLAE (Mali), des équipes techniques villageoises sont formées et responsabilisées pour le suivi des travaux avant le démarrage des chantiers. Le niveau de formation dépend du projet et de l'encadreur ; cette formation concerne presque toujours l'utilisation d'un niveau à eau, l'écartement entre les ouvrages, et l'organisation du travail. Les encadreurs sont formés soit par les projets eux-mêmes, soit par des instituts nationaux comme l'IPDR (Institut Polytechnique de Développement Rural à Kollo près de Niamey). S'ils sont formés par les projets, leur niveau de compétence est très variable selon les projets. On a pu constater que le besoin d'un suivi des (nouveaux) formateurs est souvent sous-estimé, menant à des erreurs d'exécution sur les chantiers.

L'organisation des chantiers villageois d'aménagement CES nécessite aussi une bonne organisation au niveau du village, surtout si, à long terme, on veut arriver à l'aménagement et la gestion du terroir villageois (voir 4.6). Dans un premier temps, il est recommandé de renforcer l'autonomie des communautés de base déjà existantes, et de les former pour acquérir la capacité d'assumer d'une part les fonctions techniques leur assurant la maîtrise progressive des aménagements, et d'autre part des fonctions économiques, notamment dans la gestion des fonds (BIT 1991).

4.2.5 - Conclusions sur l'utilisation des ressources

Nombreux sont les travaux d'aménagement qui peuvent être appliqués par les paysans sans être dépendants des ressources extérieures. Seuls nécessitent l'usage de moyens extérieurs :

- les travaux de sous-solage (ce qui peut souvent être remplacé par d'autres techniques, comme le zay),
- les traitements de grandes ravines (avec des gabions),
- le transport de pierres sur des distances dépassant un kilomètre.

Le transport de pierres se fait souvent par camions : malgré la dépendance des projets vis-à-vis des financements extérieurs pour la mise à disposition des camions, cette solution paraît moins onéreuse que le transport par charrettes, et ceci dès que les distances deviennent importantes (plus de deux kilomètres). Le transport par charrettes (actuellement peu appliqué) aurait l'avantage de permettre aux paysans individuels d'aménager leurs champs sans être tributaires d'un projet pour les moyens de transports, l'acquisition de charrettes pouvant éventuellement être subventionnée. Concernant les matériaux, l'outillage et le savoir-faire, la plupart des techniques n'en exigent qu'un minimum, facile à mettre à la disposition des populations. Néanmoins, malgré le fait que la lutte anti-érosive repose sur certaines techniques traditionnellement connues dans les régions concernées, la vulgarisation et la formation pour la mise en place des nouvelles techniques, même si elles ne sont que des techniques traditionnelles "améliorées", nécessite une attention plus soutenue que ce que l'on estime généralement. La mise en place des traitements de ravines, des fossés ados et des banquettes en terre exige un suivi continu sur le terrain par un encadrement qualifié et par conséquent formé.

4.3 - Les coûts et bénéfices

4.3.1 - Les coûts des ressources

Le coût des aménagements dépend de plusieurs facteurs. Il comprend les éléments suivants :

- le gros matériel,
- le petit matériel,
- les matériaux,
- la main-d'oeuvre professionnelle,
- la rémunération pour la main-d'oeuvre fournie par la population.

Le gros matériel, s'il est utilisé, grève d'une façon très importante le budget d'un aménagement. Le coût d'un camion pour le transport des pierres est de l'ordre de 30 000 FCFA par jour ; le nombre de voyages nécessaires pour un hectare d'aménagement en pierres varie d'une demi-journée à trois jours. Le coût du gros matériel utilisé par le Projet Intégré de Keita (sous-soleur, niveleuse, compacteur) est de l'ordre de 70 000 FCFA par hectare.

Le petit matériel comprend les outils et les charrettes. Quelques prix unitaires sont donnés ci-après :

- pelle	2 500 FCFA
- pioche	2 750 FCFA
- corde	100 FCFA le mètre
- niveau à eau	15 000 FCFA
- niveau optique	500 000 FCFA
- charrette	70 000 à 95 000 FCFA

Ces outils peuvent être utilisés pour aménager de vastes surfaces. Une estimation du coût à l'hectare donne 4 000 FCFA (niveau optique et charrettes exclus).

Outre la terre et les cailloux pour les aménagements en pierres, **les matériaux** utilisés pour les réalisations sont : les gabions, les plants, les clôtures, etc... Le prix des gabions varie de 5 000 à 10 000 FCFA/m³ (9 800 FCFA au Niger). Ils représentent la majeure partie du coût des ouvrages en gabions.

Les plants d'arbres élevés dans des pépinières coûtent environ 100 FCFA l'unité, y compris le coût des pépinières. Au Burkina Faso, le projet PAE distribue aux paysans les arbres qui sont adaptés à l'environnement agro-forestier au prix, fortement subventionné, de 10 FCFA par arbre ; les arbres moins utiles sont cédés à 25 FCFA. Les arbustes et herbes multipliés par semis direct ou par boutures sont beaucoup moins chers, sauf si les boutures ne sont pas disponibles à proximité.

Si elle est nécessaire, **la main-d'oeuvre professionnelle** (pour l'implantation, le suivi des travaux et les formations) est payée, au Niger, au SMIG (1000 FCFA/jour). Pour le Burkina Faso, nous retiendrons le même chiffre.

La main-d'oeuvre non qualifiée au Niger est rémunérée sous forme de vivres PAM distribués aux travailleurs ; ceci correspond à 510 FCFA par jour. Au Burkina Faso, les réalisations sont presque exclusivement exécutées par des paysans qui ne sont pas rémunérés.

4.3.2 - Les coûts des aménagements

Le coût financier par hectare aménagé est très variable selon les ouvrages. Le coût des zays, par exemple, est dérisoire, tandis que celui des digues filtrantes avec traitement des ravines incorporé peut atteindre 100 000 FCFA par hectare, sans compter la rémunération de la main-d'oeuvre. Les coûts des aménagements sont présentés dans le tableau 4.3. Ces coûts sont spécifiés selon cinq catégories : gros matériel, petit matériel, matériaux, main-d'oeuvre professionnelle et temps d'exécution. Ce dernier n'est pas exprimé en argent mais en jours

Tableau 4.3 : coûts et bénéfices des ouvrages de CES par ha en FCFA (1)

Dispositif	Coût du gros matériel (engins, camions)	Coût du petit matériel	Coût matériaux	Coût main-d'oeuvre professionnelle	coût total (3)	Temps total de main-d'oeuvre non-professionnelle	Augmentation de sécurité des récoltes (6)	Augmentation de récolte en FCFA (moyen) (2)	Equilibre coût/bénéfices (7)
Sous-solage	40 000	0	0	5 000	45 000	0	+	+ 20 000	2 - 2
Zay	0	4 000	0	0	4 000	50	+	25 000 (5)	1 - 1
Demi-lune, (non revêtue)	5 000	4 000	0	5 000	14 000	145	++	20 000	1 - 4
Demi-lune, (revêtue)	65 000	4 000	0	6 000	75 000	290	++	20 000	4 - 11
Diguette en terre à la main	0	4 000	0	6 000	10 000	150	+	10 000	1 - 8
Diguette en terre (mécanisé)	6 000	4 000	0	6 000	16 000	50	+	10 000	2 - 4
Fossé ados (non revêtu)	5 000	4 000	12 500	3 000	24 500	40	+	15 000	2 - 3
Fossé ados (revêtu)	45 000	4 000	12 500	5 000	66 500	125	+	15 000	5 - 9
Cordons de pierres avec camion	20 000-30 000	4 000	0	0	24 000	110	+	20 000	2 - 4
Cordons de pierres avec charrette	0	19 000 - 32 000	0	0	19 000 - 32 000	100-150	+	20 000	2 - 4
Digue filtrante	56 000	4 000	0	3 000	63 000	240	++	35 000 (4)	2 - 5

NOTES :

- (1) Les chiffres sont donnés à titre indicatif ; ils n'ont d'autre prétention que de donner des ordres de grandeur
- (2) Les estimations des augmentations des récoltes sont assez grossières par manque de données systématiques suivies sur plusieurs années.
- (3) non inclus rémunération pour main-d'oeuvre non-professionnelle
- (4) non inclus augmentation éventuelle de la superficie cultivée
- (5) à condition que du fumier soit appliqué
- (6) 0 : pas d'effet + : effets légers ++ : effets importants sur la sécurité des rendements
- (7) nombre d'années pendant lesquelles l'augmentation des rendements obtenus permet de couvrir les coûts d'investissements (premier chiffre sans rémunération de la main-d'oeuvre, deuxième avec rémunération à 510 FCFA/jour)

de travail car de nombreux travaux ne sont pas rémunérés. Pour calculer le coût d'une main-d'oeuvre rémunérée, il suffit de multiplier le nombre de jours par 510 FCFA (contre-valeur de rémunération en vivres au Niger et également niveau de salaire pour la campagne au Burkina Faso).

Les chiffres présentés dans le tableau 4.3 sont des moyennes, obtenues à partir des données fournies par les projets traités au chapitre 2. Ils sont à prendre avec quelques réserves, compte tenu de la grande variabilité de ces données (voir aussi chapitre 3).

4.3.3 - Les bénéfices financiers

Les bénéfices sont engendrés par les augmentations de rendements. Pour la plupart des aménagements, on manque de données concernant leur influence sur les rendements. Néanmoins, pour quelques ouvrages, les rendements ont été mesurés d'une façon scientifique (comparés à un témoin valable et suivis pendant plusieurs années successives). Les augmentations de récoltes (exprimées en FCFA) ainsi que le temps de recouvrement des dépenses sont présentés dans le tableau 4.3 (voir aussi chapitre 2).

L'augmentation de la superficie cultivable est, pour quelques aménagements, le but principal de leur réalisation (zay, tranchées et banquettes en terre combinées avec sous-solage). Tous ces travaux servent à récupérer des terres qui ne sont pas (plus) cultivées du fait de l'existence d'une croûte. Pour ces ouvrages, le rendement obtenu peut être considéré entièrement comme un bénéfice de l'aménagement.

Pour les autres ouvrages, l'augmentation de la superficie n'est pas le but premier, mais peut néanmoins être un facteur important. La digue filtrante par exemple, qui est construite avant tout pour capter l'eau et diminuer l'érosion, offre en outre un accroissement très net de la superficie cultivable en amont de la digue.

Dans le cas de mesures végétatives, la récolte des produits des arbres (cueillette, bois) ou des herbes (paille) peut constituer un bénéfice supplémentaire.

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, les augmentations des récoltes en FCFA et le temps de recouvrement indiqués dans le tableau 4.3 doivent être considérés comme indicatifs, d'autant plus que l'amélioration des récoltes n'est pas maintenue à moyen terme si d'autres éléments d'un système plus intensif de culture ne sont pas appliqués (voir 4.5).

4.3.4 - Avantages non-financiers

Les aménagements n'apportent pas seulement une augmentation du niveau des récoltes (exprimable en argent), mais offrent également une meilleure sécurité de celles-ci et un accroissement de la superficie cultivable.

La certitude de pouvoir récolter est un aspect important dans la zone (Soudano-) sahélienne. En raison de la variabilité pluviométrique, le risque de non-récolte demeure, même s'il est minime. Certains ouvrages permettent d'assurer des rendements relativement bons, tant pour les années sèches que pour les années pluvieuses : ce sont les ouvrages qui captent l'eau mais qui ne la bloquent pas. D'autres aménagements n'ont un effet positif réel que pendant les années sèches (zay, demi-lunes, diguettes en terre), tandis que pendant les

années plus humides, ils peuvent être cause d'asphyxie (ce qui empêche de bonnes récoltes). Mais, même dans ce dernier cas, dans la mesure où les paysans ont à la fois des champs aménagés et d'autres non aménagés, il y a une plus grande sécurité des récoltes au niveau du système de production.

D'autres avantages non-financiers peuvent être :

- l'obtention de droits fonciers ou la consolidation du droit d'usage sur les terres (voir aussi 4.7).
- l'accès, dans certains cas, à des crédits ou des subventions pour certains équipements (tels que : charrettes, charrues) ou intrants agricoles, offerts exclusivement aux paysans qui aménagent leurs parcelles.

Un avantage qui n'est pas forcément perceptible au niveau de l'exploitation agricole, mais qui doit être pris en compte au niveau régional, est l'effet écologique des aménagements : leur impact sur l'hydrologie (diminution des crues, augmentation des niveaux des nappes phréatiques) et sur le climat. Ces avantages sont difficilement perceptibles...

De plus, on peut, dans certaines régions, considérer comme avantage des travaux d'aménagement de CES, la diminution de l'exode rural.

4.3.5 - Conclusions sur les coûts et bénéfices

Si l'on ne tient pas compte de la rémunération pour la main-d'oeuvre non-professionnelle, les coûts d'investissement pour les aménagements de CES/DRS sur des terrains agricoles sont récupérables, par les bénéfices liés à l'augmentation des rendements, sur une période de un à trois ans, à l'exception des fossés ados revêtus et des demi-lunes revêtues, dont les coûts ne sont récupérables que sur une période de plus de cinq ans. Si l'on prend en considération une rémunération pour la main-d'oeuvre de 510 FCFA par jour, les coûts ne sont récupérables que sur une période comprise entre un et six ans pour la première catégorie d'ouvrages, et sur plus de neuf ans pour les fossés ados et demi-lunes revêtues, ce qui remet en cause leur rentabilité, compte tenu de ce que la "durée de vie" de certains dispositifs peut être inférieure à dix ans. Cette durée de vie dépend évidemment fortement de l'entretien des ouvrages après leur construction. Peu de choses sont connues dans ce domaine et ceci essentiellement par manque d'expériences anciennes (voir aussi 4.4 et 4.5).

4.4 - Entretien et reproduction

Dans le passé, on a constaté que l'entretien des ouvrages de CES, mis en place grâce à l'intervention d'un projet, n'a pas toujours été pris en mains par les paysans bénéficiaires. Les raisons de cette négligence peuvent être multiples et sont souvent une combinaison des facteurs suivants :

- Le paysan ne voit pas (suffisamment) l'intérêt des ouvrages.
- Le paysan n'a pas été sensibilisé sur l'importance d'un entretien régulier.
- Le paysan n'a pas été formé pour effectuer l'entretien.

- Le paysan n'a pas les moyens d'effectuer l'entretien.
- Le paysan pense que ce n'est pas lui qui est responsable de l'entretien, mais que d'autres intervenants (notamment ceux qui ont aidé à la construction) doivent revenir pour s'en occuper.

Concernant ce dernier aspect, il est souvent supposé que les modalités de construction sont déterminantes pour la prise en charge de l'entretien par les paysans. L'hypothèse est la suivante : si la participation des futurs utilisateurs aux travaux de construction est faible, ou s'ils sont rémunérés pour cette participation, ils ne se sentent pas suffisamment responsables de l'entretien des dispositifs. Ce sentiment de non-responsabilité, combiné avec un manque de connaissance et/ou de moyens pour exécuter l'entretien, serait, selon de nombreux auteurs, la cause principale de la négligence de cet entretien (Reij 1983, Marchal 1986, Martin 1986).

Ce qui est vrai pour l'entretien est d'autant plus valable pour la reproduction des ouvrages de CES. Reproduction veut dire que l'on attend des paysans qu'ils continuent à mettre en place, sans l'aide matérielle d'un projet quelconque, des dispositifs de CES sur des parcelles non encore traitées. Ceci est le but recherché parce que la seule façon d'arriver au traitement d'une partie considérable des terrains nécessitant des mesures de protection dans les pays du Sahel, passerait par l'action des paysans eux-mêmes, qui traiteraient chaque année une partie de leurs terres cultivées (Reij 1989). Il est improbable que les projets et les financements actuels pour la réalisation des travaux de CES se multiplient à court terme, et compte tenu de leur impact très limité par rapport à ce qui est nécessaire pour arrêter le processus de dégradation général à l'ensemble du Sahel, une approche axée sur la "réplicabilité" s'impose.

Une telle approche implique un choix de techniques basé sur les principes suivants (IFAD 1992) :

- Les techniques doivent être peu coûteuses et faciles à entretenir ;
- Elles doivent avoir un impact sensible et immédiat sur les rendements des cultures ;
- Elles doivent être simples, faciles à implanter et à réaliser, et de préférence ressembler aux techniques traditionnellement connues par les paysans de la région concernée ;
- L'entretien ne doit pas nécessiter beaucoup de main-d'oeuvre ;
- Les techniques doivent être bien adaptées à la situation locale.

De plus, il est important de faire participer au maximum les bénéficiaires à toutes les étapes d'identification, choix, planification et mise en place des dispositifs, en impliquant les institutions locales. Rémunérations et subventions sont à éviter si l'on recherche la reproduction des actions de CES. Une attention particulière doit être portée à la formation, et ceci de préférence à travers les services déjà chargés de la vulgarisation agricole, pour ne pas multiplier et rendre moins efficaces les structures étatiques intervenant dans la région. Sur ce point, une bonne concertation entre les différents projets intervenant dans la même région est également importante (IFAD 1992).

La nécessité d'un entretien est plus élevée pour certains types d'ouvrages que pour d'autres. De plus, l'entretien peut être plus difficile pour certains ouvrages, nécessitant, par exemple, l'assistance d'encadreurs. Ces deux aspects, à savoir : la nécessité de l'entretien et le besoin

d'assistance pour réaliser celui-ci, sont indiqués pour chaque type d'ouvrage dans le tableau 4.8 (voir ci-après).

L'entretien n'est cependant pas lié qu'au type d'ouvrage mais également à la qualité de sa réalisation initiale, et à certaines conditions physiques (voir aussi 4.1).

Généralement les mesures végétatives nécessitent un entretien peu intensif (taille ses arbres, coupe des pailles, regarnissage), et ce sont les seuls ouvrages dont l'efficacité peut augmenter dans le temps à cause de la croissance des plantes. Un problème à résoudre est souvent la protection contre le surpâturage par le bétail en saison sèche, surtout quand les plantes viennent d'être installées.

La prise en charge de l'entretien par les paysans eux-mêmes n'est pas envisageable pour des aménagements sur des terrains communaux qui ont été réalisés avec une main-d'oeuvre rémunérée, et sur lesquels l'Etat (le projet) gardera toujours une certaine responsabilité pour organiser et réaliser l'entretien. Le choix des techniques à appliquer doit tenir compte de l'ensemble des aspects précités liés à l'entretien préconisé.

4.5 - Intensification des systèmes de culture

Les conclusions sur la rentabilité des ouvrages de CES présentées en 4.3 risquent de ne pas être valables si, par manque d'entretien, le fonctionnement des ouvrages n'est pas correctement assuré, et si, à cause de cela ou pour d'autres raisons, les augmentations de rendements escomptées ne sont pas obtenues. Malheureusement, cela a été souvent le cas dans le passé, comme cela a été montré pour certains anciens projets décrits au chapitre 2. Les échecs ont, pour ces projets, été attribués au mauvais choix des techniques et au manque de sensibilisation et de formation des paysans. Mais il peut y avoir d'autres raisons expliquant pourquoi un aménagement n'est pas entretenu et utilisé de façon optimale. Ces raisons se situent au niveau du système de culture appliqué par les paysans.

Théoriquement, il y a deux facteurs principaux qui déterminent les rendements des cultures sur un champ donné : ce sont la disponibilité en eau d'une part, et la disponibilité en nutriments d'autre part. Les cas de maladies ou d'asphyxie des plantes mis à part, un de ces deux facteurs est toujours limitatif et détermine le rendement de la culture. Cela signifie que l'augmentation des rendements par l'amélioration de la disponibilité en eau à travers des mesures de CES se trouve limitée par la fertilité des sols. Même si les rendements augmentent à court terme, cela entraîne un épuisement accéléré de la fertilité du sol, provoquant une baisse des rendements à moyen terme, sauf si, dans le même temps, la fertilisation des terres est maintenue. C'est la raison pour laquelle les mesures de CES doivent être accompagnées de mesures de fertilisation. L'inverse est également vrai : si l'on décide de mieux fertiliser un champ, il devient plus rentable, sinon nécessaire, de procéder à des mesures de CES en même temps, afin de maintenir la fertilité sur place et de diminuer le risque de sécheresse, qui peut annuler l'impact de la fertilisation. Dans la plupart des cas, un travail profond du sol devient aussi une nécessité pour obtenir le rendement optimal du double effort de fertilisation et d'application des mesures de CES. La CES doit donc faire partie d'une intensification de l'agriculture dans sa totalité, sinon l'augmentation des rendements risque d'être temporaire.

Il est étonnant de voir qu'un certain nombre des projets actuels de CES ne portent pas suffisamment d'attention aux autres aspects d'intensification agricole. Cela entraîne le risque d'épuisement des sols et de manque d'entretien des dispositifs de CES qui deviennent de ce fait moins efficaces (mis à part la diminution de leur efficacité par dégradation des dispositifs eux-mêmes). A la limite, cela peut mener à l'abandon total des sites aménagés.

Les mesures d'accompagnement nécessaires comprennent donc entre autres :

- la vulgarisation de méthodes de fertilisation ;
- la stimulation de la production de fumure organique ;
- la mise à disposition d'autres engrais (minéraux) ;
- la mise à disposition des produits phyto-sanitaires ;
- la mise à disposition des moyens d'intensification agricole, tels que des outils améliorés (charrue) ;
- éventuellement des programmes de crédit pour permettre l'introduction de ces mesures.

Ces mesures d'accompagnement sont aussi importantes que le bon choix des techniques de CES et la formation des paysans pour la mise en place et l'entretien de ces techniques.

4.6 - Aménagement global et gestion des terroirs villageois.

Il existe des projets (notamment au Niger : STABEX, PDRT, PIK) qui ont pour objectif la réalisation d'un aménagement global sur une zone (bassin versant) donnée, dans le but de lutter le plus efficacement possible contre l'érosion hydrique. Ces projets agissent en même temps sur l'ensemble de la zone, c'est-à-dire sur le plateau, les versants et les glacis (avec éventuellement un traitement de ravines). L'avantage de ce genre d'aménagement est que l'eau de ruissellement n'a que peu de chance de se concentrer, de s'accumuler et, en conséquence, de former des ravines ou koris et de causer des dégâts. La réalisation d'un fossé d'écrêtement, souvent effectué au pied des collines ou des versants pour protéger les bas-fonds, n'est plus nécessaire. Du point de vue technique, un traitement global est nettement plus efficace que l'exécution d'ouvrages isolés. Par contre, d'un point de vue social, ce type d'aménagement peut créer des problèmes (travaux sur des terres peu intéressantes pour les paysans et modifications dans les couches sociales traditionnelles).

Dans un tel aménagement, on trouve le plus souvent :

- sur le plateau et le glacis, des fossés ados ou banquettes (parfois des demi-lunes)
- sur les versants, des tranchées pour la plantation d'arbres.
- en amont des différents ouvrages, des cordons de pierres pour la protection contre les eaux de ruissellement des terrains en amont.
- les ravines et les koris sont traités en même temps, si nécessaire.

Au Burkina Faso, il y a eu des projets qui ont essayé de faire des aménagements globaux, notamment le projet GERES (voir 2.2.1). L'option prise pour une plus grande participation (non-rémunérée) des populations aux travaux a fait que les projets actuels au Burkina Faso se limitent presque tous à des aménagements partiels sur les terrains de culture, avec notamment des techniques de diguettes en pierres et de digues filtrantes. Au niveau de bassins versants entiers, l'effet anti-érosif de ces aménagements est limité, car la dégradation des terrains non cultivés continue.

Un plus grand impact des aménagements et une protection globale des bassins versants sont actuellement de plus en plus recherchés, à travers une politique de "gestion des terroirs villageois". L'optique est de responsabiliser les villageois pour la gestion du terroir qui est à leur disposition. Les mesures à prendre pour la protection de ce terroir comprennent outre des aménagements de CES, également la mise en défense de certains terrains contre les animaux et le contrôle des pâturages.

Quelques essais à petite échelle ont montré qu'une telle gestion pouvait être très efficace du point de vue de la lutte anti-érosive et du maintien (amélioration) de la productivité des terrains naturels. Néanmoins, deux conditions doivent être remplies qui ne le sont pas très souvent :

1. La cohésion sociale du village doit être bonne pour que des travaux collectifs (sur les terrains collectifs) puissent être entrepris.
2. Le cadre juridique (codes foncier et pastoral) doit permettre aux villageois d'empêcher l'exploitation des ressources naturelles (pâturages, bois) par des étrangers non résidents au village sauf dans le cadre de la gestion raisonnée du terroir.

4.7 - Autres contraintes

Rémunération

Il est évident que les avantages et bénéfices des aménagements ne peuvent mobiliser les populations que dans la mesure où les paysans travaillent sur leurs propres champs, ou sur des terres qui leur sont attribuées suite à l'aménagement. Les aménagements sur des terrains communaux, et qui resteront communaux, ne sont en pratique exécutés qu'avec une rémunération pour la main-d'oeuvre fournie. On peut donc dire que, sauf exception, la rémunération de la main-d'oeuvre est une contrainte pour l'aménagement des terrains communaux, même si les travaux sont bénéfiques pour la communauté concernée (protection de son terroir ou des terrains en aval, production de bois, etc...)

Un avantage supplémentaire d'une telle rémunération pourrait être que "la rémunération monétaire des travaux d'aménagements collectifs offre une opportunité privilégiée d'introduire et de conforter les fonctions économiques au sein des groupements villageois ; en récoltant l'épargne de ses adhérents, à partir de cotisations issues de retenues librement consenties sur les salaires, le groupement peut alimenter une caisse de réserve qui fonctionne comme une caisse mutuelle de crédit à l'attention de ses membres, mais qui aussi contribue à la poursuite des activités d'aménagement" (BIT 1991).

Emigration

Compte tenu de l'importance des travaux à réaliser, une réflexion sur les méthodes à mettre en oeuvre pour éviter l'émigration temporaire en saison sèche d'une bonne partie de la population (notamment les hommes les plus productifs), mérite d'être menée. La rémunération des travaux de CES peut servir à cet objectif : compte tenu de ce qui a été dit précédemment, on pourrait imaginer que les hommes consacrent une partie de leur temps à la participation à des travaux collectifs et rémunérés (afin de gagner l'argent dont ils ont

besoin) et une autre partie de leur temps à l'aménagement (non rémunéré) de leurs propres champs de culture. Ceci n'est possible que dans la mesure où les paysans sont sensibilisés et convaincus de l'intérêt des aménagements sur leurs propres champs de culture.

Travail en groupe

D'autres contraintes pour la réalisation des aménagements peuvent apparaître avec la nécessité de travailler en groupe. Ceci est par exemple le cas pour le transport de pierres à l'aide d'un camion, ou pour des grands travaux qui doivent impérativement être terminés au cours d'une saison sèche (digues filtrantes, traitements de ravine...). Cette contrainte est moins problématique pour des travaux rémunérés par un projet que pour des réalisations non-rémunérées. Dans le dernier cas, c'est le bénéficiaire de l'ouvrage qui devra, d'une façon ou d'une autre, récompenser les personnes qui l'aident à son exécution. Des exemples montrent que ceci est réalisable, mais pas au niveau de tous les bénéficiaires potentiels (Brasser et Vlaar 1990). La collaboration des habitants au niveau d'un village (ou plutôt d'un quartier) est également importante dans cette perspective, mais elle s'avère souvent difficile à influencer.

Disponibilité et prix des intrants

L'importance de l'utilisation des intrants agricoles, notamment de l'engrais minéral, a été évoquée en 4.5. Il faut que ces intrants soient disponibles et que leurs prix soient abordables aux paysans. C'est le rapport prix des intrants - prix du produit récolté qui entre en jeu. D'une façon générale, un paysan sahélien ne peut pas se permettre de prendre de grands risques, compte tenu de la fréquence des années de sécheresse, raison pour laquelle le prix élevé d'un intrant mène rapidement à sa sous-utilisation. Le souci d'arriver à un système de culture qui soit "durable" peut obliger à subventionner certains intrants dans le cas où, par rapport au produit récolté, ils sont chers.

Le régime foncier

Comme cela a déjà été évoqué dans cette étude, les droits fonciers peuvent aboutir au fait que certains paysans ne peuvent pas réaliser certains dispositifs de CES sur les parcelles cultivées par eux et sur lesquelles ils n'ont pas un droit d'usage permanent. D'autre part, l'attribution des parcelles à ceux qui les ont aménagées (en cas de récupération de terrains dégradés et abandonnés) constitue une source de motivation pour ceux-ci. Dans ce dernier cas, il faut prêter une attention particulière aux droits fonciers traditionnels, qui peuvent faire apparaître un "ancien" propriétaire, même si celui-ci ne s'était pas manifesté avant l'aménagement.

D'une façon générale, une révision des codes fonciers s'impose si l'on veut faire en sorte que tous les paysans s'engagent dans la lutte anti-érosive. L'application des réformes agraires, telles que celles déjà proposées au Burkina Faso et au Niger (mais non encore opérationnelles), est très importante en ce sens.

Tableau 4.8 : Facteurs intervenant dans la réalisations des ouvrages

Dispositif	Applicable à un champ individuel	Nécessité de travailler en groupe > 30 personnes	Vitesse de réalisation est une contrainte	Niveau de savoir-faire	Utilisation d'un camion ou des engins	Niveau de mécanisation externe	Besoin de matériaux	Jours de main-d'oeuvre par ha (1)	Coût à l'ha en FCFA (1)	Rentabilité	Besoin d'entretien	Entretien praticable par le paysan
Sous-solage	non	non	non	xxx	tracteur ou bull.	xx	non	< 1	45 000	x	xxx	non
Zay	oui	non	non	x	non	o	non	50	4 000	xx		
Demilune	oui	non	non	xx	non	o	non	145 - 290 (3)	14 000 - 75 000(3)	x/xx	xxx/xx	oui
Digette en terre (à la main)	oui	non	non	xx/xxx	non	o	non	150	10 000	xx	xxx	oui
Digette en terre (mécanisé)	oui	non	non	xx/xxx	tracteur	x	non	50	16 000	x	xxx	oui
Fossé ados	oui	non	non	xx/xxx	tracteur	x	non	40 - 125 (3)	24 500 - 66 500(3)	x/xx	xxx/xx	oui
Digue filtrante	dépend	oui	oui	xxx	camion	o	parfois (4)	240	63 000	x/xx	xx	oui
Cordons de pierres	oui	dépend (2)	non	x/xx	dépend (2)	o	non	120	25 000	xx	x	oui
Bande végétative	oui	non	non	x	non	o	non	?	?	x	x	oui

NOTES

(1) en moyenne

(2) l'utilisation d'un camion dépend de la distance entre les matériaux à utiliser et le chantier

(3) valeur basse pour ouvrage non-revêtu de pierres ; valeur haute pour ouvrage revêtu

(4) dépend de l'utilisation de gabions

x = praticable par les paysans

xx = praticable par les paysans après formation

xxx = spécialiste nécessaire

o = tout manuel

x = partiellement mécanisé

xx = tout mécanisé
nb : le camion n'est pas pris en considération* = par 10 m³

** = par m

Seulement les coûts direct soit camion, gabions et petit matériel.

La main-d'oeuvre n'est pas prise en considération.

o = pas de recouvrement

x = recouvrement après plus de 2 années

xx = recouvrement en 1 ou 2 années

x = peu d'entretien

xx = entretien annuel

xxx = reconstruction partielle annuelle

Le cadre juridique

A part le régime foncier, d'autres lois comme le code pastoral et le code forestier peuvent être un obstacle à la prise en mains de la gestion rationnelle des ressources naturelles par les populations locales. Il demeurera illusoire de confier l'aménagement et la gestion des terroirs aux villageois, si l'on ne leur donne pas la garantie de pouvoir jouir de ces terroirs, à travers une législation adéquate.

4.8 - Résumé des contraintes

Le tableau 4.8 est présenté afin de permettre une comparaison entre les ouvrages selon l'importance des facteurs intervenant dans leur réalisation. Dans ce tableau, se trouvent résumés tous les facteurs (contraintes) traités ci-avant, qui ont été examinés pour les différents types d'ouvrages de CES.

Pour chaque ouvrage, il est indiqué :

- s'il est applicable au niveau d'un champ individuel ;
- si, pour sa réalisation, il est nécessaire de travailler en groupe ;
- si la rapidité de réalisation risque d'être une contrainte ;
- le niveau de savoir-faire nécessaire au niveau de la réalisation ;
- la nécessité de l'utilisation d'un camion ou d'engins ;
- le niveau de mécanisation nécessaire ;
- le besoin de matériaux en provenance de l'extérieur ;
- le nombre de jours de main-d'oeuvre nécessaire ;
- un ordre de grandeur des coûts de réalisation ;
- une indication sur la rentabilité attendue pour chaque type d'aménagement, c'est-à-dire le nombre d'années nécessaires pour recouvrer les coûts d'investissement ;
- le besoin d'entretien ;
- si l'entretien est réalisable par les seuls paysans.

Le tableau 4.8 doit être consulté avec une certaine prudence, les différents facteurs étant tous plus ou moins liés (Exemple : la réalisation d'un ouvrage onéreux peut induire un entretien réduit, etc...).

Il doit être également consulté en combinaison avec les tableaux 4.1.1 et 4.1.2 qui fournissent des informations sur l'applicabilité (technique) et l'efficacité des ouvrages.

CONCLUSIONS

Les expériences de conservation des eaux et des sols dans la région de l'Ader Douchi-Maggia au Niger et sur le plateau Central du Burkina Faso montrent qu'il y a, dans la plupart des cas, un bénéfice net et rapide à tirer, pour les paysans, des aménagements de CES. Pour cette raison, il n'est pas difficile de convaincre les paysans de leur utilité, et il est relativement simple de les motiver pour participer aux travaux d'aménagement. Néanmoins, le choix des techniques à mettre en oeuvre et les conditions de la participation sont déterminants pour cette motivation et pour garantir une prise en charge ultérieure de l'entretien, ainsi qu'une éventuelle extension (réplicabilité) des réalisations. Plusieurs projets ont échoué sur ce plan, et les cas de réussite sont encore trop peu nombreux et trop récents pour pouvoir se prononcer avec certitude sur les éléments déterminant la prise en charge des actions de CES par les paysans. Les aspects suivants font partie de ces éléments :

1. Le choix des techniques

Les techniques doivent être adaptées aux conditions physiques (climat, sol, topographie) et aux conditions socio-économiques (disponibilité des populations, leur équipement, besoins en terres, etc...). Le présent document permet de comparer un certain nombre de techniques en ce qui concerne leur adaptation aux conditions physiques. Il ressort de l'étude qu'il faut souvent penser à combiner différentes techniques pour avoir le meilleur impact, par exemple combiner les ouvrages durables avec un travail du sol adapté. En ce qui concerne l'adaptation aux conditions socio-économiques, l'effort à fournir par les paysans pour la mise en place et pour l'entretien des dispositifs est un des facteurs les plus importants. Il est lié à l'appui donné aux populations. Si l'on veut aboutir à une situation dans laquelle les paysans procèdent eux-mêmes à la reproduction des dispositifs sur les terrains à protéger, les techniques ne doivent pas demander beaucoup de main-d'oeuvre pour leur mise en place et leur entretien. Ensuite, il faut qu'elles soient peu compliquées (faciles à installer) et peu coûteuses (utilisation de matériaux locaux). Ces éléments sont également comparés pour les différentes techniques traitées dans cette étude.

2. La rentabilité à moyen et long terme

La rentabilité des techniques est étroitement liée à leur choix (voir ci-dessus), mais aussi à l'entretien et aux techniques culturales. Les augmentations de rendements présentées dans ce rapport sont basées sur un nombre trop réduit de mesures fiables, surtout trop réduit en ce qui concerne les mesures en milieu paysan portant sur les rendements obtenus sur parcelles aménagées depuis plusieurs années. Il est connu que l'impact de la conservation des eaux est lié à la fertilisation des terres. Si cette dernière est négligée, l'augmentation des rendements grâce aux aménagements de CES ne peut être que temporaire. La CES doit donc être accompagnée d'une intensification du système de culture pour avoir un impact à moyen et long terme.

3. Appui de la part des projets

L'appui de la part des projets peut consister en des actions de sensibilisation et de formation, un appui technique lors de l'exécution des chantiers, la mise à disposition de matériels et matériaux, la rémunération des populations pour leur participation (main-d'oeuvre), et un appui

après la réalisation des dispositifs pour l'introduction de nouvelles pratiques culturales (labour du sol, fertilisation, etc...). Il est généralement reconnu qu'un appui trop important lors de la construction empêche la reproduction, ou même l'entretien des dispositifs à long terme, quand l'appui est retiré. Particulièrement, la rémunération des paysans pour des travaux sur leurs propres champs est déconseillée, sauf en cas de pénurie alimentaire, ou si une grande partie de la population risque de partir pour une émigration saisonnière. Si le choix des techniques est fait avec le souci d'obtenir une reproduction spontanée par les paysans à long terme, l'appui doit se limiter à la sensibilisation, la formation et éventuellement la mise à leur disposition de certains matériels. De plus, il est très important dans ce cas, de faire participer la population à toutes les phases d'identification, planification et exécution des travaux. L'importance de la sensibilisation et de la formation pour l'entretien correct des dispositifs ne doit pas être sous-estimée et nécessite souvent un suivi de plusieurs années.

4. Aménagement et gestion des terroirs

Bien que les techniques de CES sur les terres de culture soient prioritaires pour les paysans individuels, il est important de ne pas sous-estimer l'importance de l'aménagement et la gestion des terroirs communaux, souvent situés en amont des champs. Dans bien des cas, une meilleure gestion de ces terrains s'impose pour protéger les champs contre les eaux provenant de ces zones. De même, une meilleure gestion du bétail s'impose pour protéger les dispositifs végétatifs et pour obtenir plus de matière organique dans le cadre de l'intensification agricole. Toutes ces actions ne sont possibles que si les villageois s'organisent pour une meilleure gestion des terres collectives, et pour réaliser certains aménagements collectivement. Ces aspects doivent faire partie de la formation des paysans dès le début.

En général, le choix des techniques est donc important, mais n'est pas le seul facteur déterminant la réussite ou la répliquabilité. Concernant l'intensification agricole et la gestion des terroirs, certaines conditions entrent en jeu, qui dépassent souvent la compétence des projets, telles que les prix des intrants et le cadre juridique (codes foncier, forestier, pastoral).

Comme la plupart des projets étudiés dans le cadre de cette étude se situent dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne, on peut douter du fait que les conclusions soient aussi valables pour la zone soudano-guinéenne. En fait, il y a encore peu d'interventions de CES dans cette zone agro-climatique, et celles qui existent (par exemple le Projet PLAE) sont assez récentes. Dans la zone soudano-guinéenne, il s'agit plutôt de lutte anti-érosive que de conservation des eaux, et, de ce fait, l'impact des mesures de CES sur les rendements agricoles n'est perceptible qu'à long terme. Ceci peut être un facteur de démotivation des paysans.

D'une façon générale, l'impact des mesures de CES est encore trop peu connu, même pour les zones soudanienne et soudano-sahélienne. Un effort de suivi-évaluation des interventions actuelles s'impose, pour être en mesure de mieux choisir les techniques et les approches les plus adaptées aux situations locales.

BIBLIOGRAPHIE

Association Internationale de Développement Rural (AIDR), juin 1981. Rapport d'évaluation du Projet Développement Rural de la zone de Badeguichéri, deuxième phase. Bruxelles.

Atelier du développement de l'élevage en zone pastorale, février 1986. Contribution du département de Tahoua. Tahoua.

Bama, P., Groten S., Metzger M., et Mühlbauer G., 1985. Evaluation des essais anti-érosifs et cultures fourragères. PNL/D/PACILSS, 47pp.

BIT, 1991. Conservation des Sols et des Eaux et Ressources Locales au Sahel, enseignements et orientations. Série «études et débats». Bureau International du Travail, Genève.

Boon, A. et Gielen, H., janvier 1989. Amélioration de l'environnement et l'aménagement intégré de la commune de Tahoua ; document du projet. Wageningen, Pays-Bas.

Bosma, R.H., Scheer, R-J, et Wit, N.J., 1989. Culture attelée au Burkina Faso. Bilan et perspectives. Groupe de travail Développement Rural, Ambassade Royale des Pays-Bas, Ouagadougou, 46 pp.

Bouzou, Ibrahim et Schoeneich, P., 1987. Observations sur les demi-lunes, région de Tahoua-hivernage 1986. Université de Niamey, Niamey.

Brasser, M.B. et Vlaar, J.C.J., 1990. Aménagement de Conservation des Eaux et des Sols par Dignes Filtrantes ; Expérimentations dans la région de Rissiam, Burkina Faso, 1986-1989. Tome 2 : Aspects socio-économiques. WAU Wageningen / CIEH Ouagadougou.

Campen, W. van et Kébé, D., 1986. Lutte anti-érosive dans la zone cotonnière au Mali-Sud. Dans : Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Tome I, DSA-CIRAD, Montpellier, France.

Casenave, A. et C. Valentin, 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Didactiques, Paris, 230 pp.

CARE, 1985. Projet pilote pour l'aménagement du bassin versant de la Maggia. Tahoua.

CARE, septembre 1986. Programme de CES/DRS dans le bassin versant de la retenue de Galmi (Kodiki). Tahoua.

CARE, juillet 1988. Tahoua Agroforestry Project ; report 1987-88. Tahoua.

CARE, décembre 1988. Projet d'aménagement des terres semi-arides et des forêts naturelles ; plan annuel de travail 1988/1989. Tahoua.

Chaweïye, Mahamane, décembre 1982. Projet d'aménagement de la vallée de Roukouzoum et Kaora Abdou. Projet de développement rural de Badeguichéri. Badeguichéri, Tahoua.

Chopart, J.L., Nicou, R. et Vachaud, G., 1976. Le travail du sol et le mulch pailleux. Influence comparée sur l'économie de l'eau dans le système arachide mil au Sénégal. IAEA publ. 235/22 : 199-221.

CIEH/AFVP, 1987. Les digues filtrantes : aménagement de conservation des eaux et des sols. 1^{re} année d'expérimentations évaluations dans la région de Rissiam, CIEH/AFVP, Ouagadougou, 173 pp + annexes.

Consultations sectorielles en développement rural, 1988. Programme du département de Tahoua ; processus de la table-ronde du Niger 24, 25 et 26 mars 1988. Niamey.

Cortenbach, F., 1988. Evaluation technique des aménagements anti-érosifs sur micro-bassins versants. II. exécution du plan d'aménagement. BAER/CIEH/PEDI, 76 pp.

CTFT, 1973. Défense et Restauration des Sols. Gampela 1967-1972 CTFT, Ouagadougou.

CTFT, 1979. Conservation des sols au sud du Sahara (deuxième édition). Ministère de la Coopération, Paris.

DAER Tahoua, 1988. Projet CARE, arrondissement d'Illéla. Tahoua.

DAER Tahoua, novembre 1988. Plan de campagne des travaux CES/DRS ; campagne 1988-1989. Tahoua.

Dancette, C. et Nicou, R., 1974. Economie de l'eau dans les sols sableux au Sénégal. Doc. Miméo, IRAT/CNRA, Bambey, Sénégal.

Delwaille, J.C., juillet-août 1973. Résultats de six ans d'observations sur l'érosion au Niger, dans : Bois et Forêts des Tropiques, n° 150.

Dezileau, D. et Sailland V., 1988. Rapport annuel aménagements de digues filtrantes dans la région de Rissiam saison 1987-1988. AFVP.

Dugue, P., 1986. Appropriation des techniques de lutte contre l'érosion et le ruissellement par les paysans du Yatenga. Dans : Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Tome I, DSA-CIRAD, Montpellier, France.

Dugue, P., 1987. Programme de recherche/développement du Yatenga. Rapport de synthèse 1986. INERA, Ouagadougou.

Ecole Polytechnique Fédérale Zurich, décembre 1987. Ourihamiza - Tamijirt, demi-lunes parc de l'Est ; mesures d'humidité (rapport intermédiaire). Swissaid, Tahoua.

FAO, 1986. Etude de la mise en valeur des ressources en eau et en sols - Vallée de Keita - Niger ; vol.1 Rapport général, vol.2 Etude hydrogéologique. INC, Rome.

FAO, 1988. Project progress report septembre 1987/février 1988. Développement rural intégré dans l'ADM, vallée de Keita. Rome.

- FAO**, août 1988. Identification et formulation pour l'extension du programme de développement rural intégré dans l'Ader Douchi-Maggia, Niger : rapport de mission. Rome.
- FEER**, 1986. Evaluation des programmes de lutte contre l'érosion. FEER, 75 pp.
- FEER**, 1987. Rapport de synthèse des enquêtes sur sites anti-érosifs. FEER, 16 pp.
- Forest, F. et Poulain J.F.**, 1978. Etude du ruissellement à la parcelle et de ses conséquences sur le bilan hydraulique des cultures. CIEH/IRAT, 23 pp.
- Génie Rural**, juin 1983. Projet CES/DRS périmètre d'Allokoto, Birni N'Konni. Tahoua.
- Guillobez, S. et Zougmoré, R.**, 1991. Etude du ruissellement et de ses principaux paramètres, à la parcelle (Saria, Burkina Faso: 1990). Symposium international «Gestion agroclimatique des précipitations», Bamako, Décembre 1991, 13 pp.
- Guinaudeau, C.**, 1987. Les brises vent au Sénégal. Les techniques d'implantation, méthodes et outils de sensibilisation, programmes de formation. FAO, Dakar.
- Herblot, G.**, 1984. Une expérimentation «Travail du sol en sec» en Haute-Volta. *Machinisme Agricole Tropical* 85: 3-41.
- Herblot, G.**, 1986. Une expérimentation «Travail du sol en sec» au Burkina Faso (suite). *Machinisme Agricole Tropical* 88 : 18-28.
- Hijkoop, J., Poel, P. Van der et Kaya, B.**, 1991. Une lutte de Longue Haleine ; systèmes de production rurale au Mali : volume 2. IER Bamako / KIT Amsterdam.
- Hoogmoed, W.B.**, 1987. Some aspects of crust formation on soils in semi-arid regions. *Dans* : Alfisols in the semi-arid tropics. Proceedings consultants' workshop, December 1983, ICRISAT, Patancheru, India, pp.127-135.
- Hoogmoed, W.B. et Klaij, M.C.**, 1990. Soil management for crop production in the West African Sahel. 1. Soil and climate parameters. *Soil & Tillage Research*, 16 : 85-103.
- Hoogmoed, W.B. et Klaij, M.C.**, 1988. Tillage and planting strategies for sandy soils in Niger, West Africa. *Dans* : Challenges in dryland agriculture, proceedings of an International Conference on Dryland Farming, Amarillo, Texas, USA, pp. 562-564.
- Hoogmoed, W.B. et Stroosnijder, L.**, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. I. Rainfall and infiltration. *Soil & Tillage Research* 4 : 5-23.
- Hoskings, M.W., et Weber, F.R.**, 1983. Fiches techniques de conservation du sol. Club du Sahel, Idaho, Etats-Unis.
- Hottinga, F.**, 1988. Evaluation technique des aménagements anti-érosifs sur micro-bassins versants. Recherche sur Namsiguia. I. Avant-projet. BAER/CIEH/PEDI, 64 pp.
- IFAD**, 1992. Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa, Towards sustainable production by the rural poor. Prepared by the Center for Development Cooperation Services, Free University, Amsterdam.

- IGN, 1965.** Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/500 000 : Tahoua, feuille ND-31-NE. Paris.
- IGN, 1966.** Carte au 1/200 000, coupure spéciale : Ader Doutchi-Maggia, Niger. Paris.
- IGN, 1977.** Carte de la République du Niger, 1/2 500 000. Paris.
- Kassoume, Laminou, 1987.** Utilisation des techniques de DRS et CES dans la forêt de Fayra, bilan 1986, actions 1987, détermination des normes et coûts. IPDR Kolo (Niamey).
- Katkoré, Boubakar, 1986.** Etude des techniques de récupération agro-sylvo-pastorale des sols dégradés du faciès 3 en forêt de Fayra. IPDR Kolo (Niamey).
- Kessler, J-J. et Boni., 1991.** L'agroforestry au Burkina Faso. Tropical Resource Management Paper n°-1. Ministère de l'environnement et du tourisme, Burkina Faso et UAW, Wageningen. 144 pp.
- Kessler, J-J. et Breman, H., 1991.** The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of west Africa. *Agroforestry Systems* 13 : 41-62.
- Klaij, M.C. et Hoogmoed, W.B., 1987.** Crop response to tillage practices in a Sahelian soil. Dans : Soil, crop and water management in the Sudano-Sahelian zone. Proceedings of an International Workshop, January 1987, ICRISAT, Niamey, Niger, pp. 265-275.
- Kievit, D., 1983.** Observations chez un paysan en région de Niono, Mali. Rapport, Département de travail du sol, Université Agronomique, Wageningen, (en néerl.)
- Kobika, Hamidou, 1988.** Evaluation de différentes techniques de récupération des terres dégradées (essais CES/DRS). IPDR Kolo (Niamey).
- Kohler, J.M., 1971.** Activités agricoles et changements sociaux dans l'Ouest-Mossi. ORSTOM, Paris.
- Koning, J. de, 1987.** L'agriculture pluviale au Burkina Faso. SNV, Ouagadougou. (en néerl.)
- Koninklijk Instituut voor de Tropen (KIT), 1982.** De Sahel na de grote droogte, Landendocumentatie 1982 nr.2/3. Amsterdam.
- Lamachère, J.M. et Serpantie, G., 1988.** Valorisation agricole des eaux de ruissellement en zone soudano-sahélienne - Burkina Faso - région de Bidi. ORSTOM, Ouagadougou.
- Madougou, Zakari, 1983.** Bilan des actions forestières entreprises par CARE dans l'arrondissement de Keita 1979-1983. Tahoua.
- Marchal, J.Y., 1986.** Vingt ans de lutte anti-érosive au Nord du Burkina Faso. Cahier ORSTOM sér. pédol. 2 (22) 173-180.
- Martin, P., juillet 1979.** Evaluation : lutte anti-érosive, conservation des eaux et du sol dans la vallée de la Maggia, Tahoua. IRFED.

- Martin, P.**, 1986. Conditions et premiers résultats de la prise en charge des aménagements de conservation des eaux et du sol au Niger. Comm. 1-3 Séminaire «Aménagements hydro-agricoles et systèmes de Production» CIRAD/DSA Montpellier.
- Martinelli, B. et Serpantie G.**, 1987. Deux points de vue sur la confrontation des paysans aux aménageurs dans le Yatenga (Burkina Faso). ORSTOM, Ouagadougou, 50 pp.
- Matlon, P.J.**, 1986. Rapport Annuel ICRISAT, Burkina Faso, programme économique 1985. ICRISAT Ouagadougou.
- Maydell, H.-J. von**, 1986. Arbres et arbustes du Sahel; leurs caractéristiques et utilisation. GTZ, Eschborn (RFA). 525 pp.
- Mignan-Traore, M. et Zongo A.**, 1986. Groupement villageois et consommation foncière en Haute-Volta. Dans : Grousa B. 1986. Espaces disputés en Afrique noire. Paris.
- Ministère du Plan**, 1986. Recensement général de la population, 1977 ; Données brutes, département de Tahoua. Niamey.
- Nicou, R.**, 1977. Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal, motivations, contraintes. ISRA/CNRA, Bambey, Sénégal, Miméo 50 pp.
- Nicou, R.**, 1985. Travail du sol et résistance à la sécheresse. Dans : La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée. pp. 313-325.
- Nicou, R. et Charreau, C.**, 1985. Soil tillage and water conservation in semi-arid West Africa. Dans : (H.W. Ohm and J.G. Nagy (Eds.) Appropriate technologies for farmers in semi-arid West Africa. Purdue University, pp. 9-32.
- Nicou, R., Ouattara, B. et Somé, L.**, 1986. Rapport de synthèse 1985. IVRAZ-IRAT, Burkina Faso.
- Nicou, R., Ouattara, B. et Somé, L.**, 1987. Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. INERA, Burkina Faso, 77 pp.
- Ouedraogo, M.**, 1986. Rapport d'activités de la campagne 1985. PAF, Ouahigouya, 12 pp.
- PACILSS**, 1986. Résultats de la campagne 1984-1985. Lutte contre la désertification. PACILSS, 1986, 115 pp.
- PACILSS**, 1988. Rapport d'activités 1986/1987. PACILSS, 119 pp.
- PAF**, 1984. Rapport de fin de campagne 1983 au Yatenga, Haute-Volta. PAF, 22 pp.
- PAF**, 1987. Rapport d'activités de la campagne 1986. PAF, 27 pp.
- PAM**, 1987. Journal du Programme Alimentaire Mondial. Rome.
- PDRT**, 1988. Rapport annuel : campagne 1987-1988. Tahoua.

PEDI, 1988. Rapport d'activités 1987. PEDI, 80 pp.

PEDI, 1989a. Rapport d'activités 1988. PEDI, 106 pp.

PEDI, 1989b. Les recherches anthropologiques à Namsiguia 1987- 1989. Propositions et résultats. PEDI, 35 pp.

PEDI/BAER, 1988. Rapport de campagne 1987-1988. PEDI/BAER, 39 pp.

Pieri, C., 1989. Fertilité des terres de savanes. CIRAD-IRAT-Min. de la Coop., 450 pp.

PIK, octobre 1985. Note de présentation. Keita, Tahoua.

PIK, octobre 1988. Principales réalisations au 31/08/88. Keita, Tahoua.

PLAE, 1992. Rapport bilan Projet Lutte Anti-Erosive 1990/91. PLAE/CMDTKoutiala (Mali).

Programme Spécial National (FIDA-Niger), 1988. Carte administrative du Niger, dans : Programme Spécial National (FIDA-Niger). Niamey.

Projet de développement rural intégré Illéla-Konni, 1983. Dossier de factibilité.

Projet Forestier, 1987. Rapport des activités techniques de la division CES/DRS du 01/04/87 au 05/06/87. Niamey.

Projet Forestier, août 1988. Evaluation et propositions de poursuite (document de base et document annexe). Niamey.

Projet Productivité Tahoua, 1983. Plan opérationnel et financier (1984-1986). Tahoua.

Projet Productivité Tahoua, juillet 1984. Aménagement de la vallée d'Alibou ; évaluation de l'opération-test de Kalfou. Tahoua.

Reij, C., 1983. L'évolution de la lutte anti-érosive en Haute-Volta depuis l'indépendance - vers une plus grande participation de la population -. Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam, 84 pp.

Reij, C., 1988. Impact des techniques de conservation des eaux et du sol sur les rendements agricoles ; analyse succincte des données disponibles pour le Plateau Central au Burkina Faso. AGRISK.

Reij, C., 1989. L'état actuel de la conservation des eaux et du sol dans le Sahel. Dans : Documents de base Rencontre Régionale de Segou sur la gestion des terroirs villageois du Sahel.

Rochette, R. et Boukari Saley, septembre 1983. Projet de développement rural de Badeguicheri. MDR/UNCC, Niamey.

Rochette, R.M. (réd.), 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. CILSS, Ouagadougou, 592 pp.

- Rodriquez, L.**, mars 1988, Les aménagements intégrés de quartiers de culture du terroir de Ziga (Yatenga) Burkina Faso. Projet recherche développement.
- Roose, E.**, 1981. Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Travaux et documents de l'ORSTOM 130. ORSTOM, Paris. 369 pp.
- Roose, E. et Piot J.**, 1984. Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (Central Upper Volta). Proceedings of the Harare Symposium on «Challenges in African Hydrology and Water Resources» IAHS. Publ. n° 144, p. 485-498.
- Roose, E.**, 1987. Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique Occidentale : stratégies anciennes et nouvelles. Comm. Séminaire «Gestion des eaux, des sols et des plantes» Niamey 11-16/01/87.
- Sabet, Y.**, mai 1988 (a). Fiches techniques pour aménagements anti-érosifs des bassins versants. Projet Forestier, Niamey.
- Sabet, Y.**, mai 1988 (b). Lutte contre l'érosion hydrique et techniques anti-érosives. Projet Forestier, Niamey.
- Sabet, Y.**, décembre 1988. Principes techniques sur la maîtrise des eaux superficielles et la restauration des sols au Niger. Projet Forestier, Niamey.
- Sawadogo, R. et Zeidler B.**, 1989. Site d'essai et de démonstration, Tougou. Rapport d'activités du 1-1-1986 au 31-12-88. PAE, 23 pp.
- Schüddig B.**, 1988. Fiche d'information PAE, campagne 1987/1988. PAE, Ouahigouya, 9 pp.
- SEDES**, septembre 1987. Etude du secteur agricole du Niger (bilan-diagnostic-phase I). Niamey.
- Séminaire sur l'aménagement des sols, la conservation de l'eau et la fertilisation**, du 20 au 25 Février 1989. Contribution de la DDA, Tahoua. Tahoua.
- Séminaire sur l'approche participative et les techniques forestières au Sahel**, du 17 au 31 janvier 1988. Travaux de CES/DRS à Guidan Sourout, Wadey et Laba (arrondissement de Keita) ; étude de cas n° 1.
- Service départemental des Eaux et Forêts**, 1985. Guide pratique de multiplication par bouturage d'Euphorbia Balsamifera. Niamey.
- Sivakumar, M.V.K et Gnoumou F.**, 1987. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: le Burkina Faso. Bulletin d'Information n° 23. ICRISAT, Patancheru (Inde), 61 pp + annexes.
- Sluiter, H.**, février 1989. Un inventaire des projets avec un volet forestier, département de Tahoua. Service Départemental des Eaux et Forêts, Tahoua.
- SOGETHA**, 1964. Aménagement régional de l'Ader Douthi-Maggia ; Parties I, II et III. Grenoble, France.

Stigter, C.J., 1985. Wind protection in traditional microclimate management and manipulation. Example from East-Africa. *Progress in biometeorology* 2 : 145-154

UNSO, 1988. Document de projet d'aménagement des terres semi-arides et des forêts naturelles.

Vuillaume, G., 1967. Observations et mesures hydrologiques sur les bassins versants de la région de Tamaské ; le bassin représentatif de Kounkouzout, campagnes 1964-65-66. ORSTOM, Paris.

Vlaar, J.C.J., 1990. Impact d'un aménagement CES/DRS sur le ruissellement, l'érosion et les rendements agricoles au niveau d'un petit bassin versant à Namsiguia, Burkina Faso ; résultats de deux années de recherche. Séminaire UREF/AUPELF sur l'utilisation rationnelle des Eaux des Petits Bassins Versants. Ouagadougou 12-15 mars 1990 (CIEH).

Vlaar, J.C.J. et Wesselink, A.J., 1990. Aménagement de Conservation des Eaux et des Sols par Dignes Filtrantes. Expérimentations dans la Région de Rissiam, Burkina Faso, 1986-1989. Tome 1 : aspects techniques et agronomiques. WAU Wageningen / CIEH Ouagadougou.

Weber, F.R. et Stoney, C., 1986. Reforestation in arid lands. VITA, Virginia, USA.

Wiersum, K.F., 1986. Ecological aspects of agroforestry with special emphasis on tree-soil interactions. FONC Project Communication no. 1986-16. Forestry Department, WAU, Wageningen.

Wright, P., 1984. La gestion des eaux de ruissellement. OXFAM, 38 pp.

Young, A., 1989. Agroforestry for soil conservation. Science and practices of agroforestry 4. CAB/ICRAF, Oxou, U.K. 276 pp.

ANNEXE 1 : DEUX TYPES DE BARRAGE/SEUIL APPLIQUES AU NIGER

A1-1 - Barrage/seuil en gabions

Description (voir la figure A1-1)

Généralement, un barrage/seuil se compose de gabions, remplis de pierres, placés dans une ravine pour maintenir le courant d'eau au milieu de celui-ci. Le seuil se prolonge sur et dans les berges pour éviter un contournement de l'eau (dans le programme d'aménagement Nord-Ader, on a prolongé certains seuils jusqu'au glacis).

Le seuil, généralement en son milieu, possède une ouverture permettant d'évacuer les écoulements (déversoir). A l'aval de ce déversoir, un radier en enrochements ou gabions est à exécuter afin de briser l'énergie de l'eau. A l'extrémité du radier, un redan est fréquemment mis en place, permettant ainsi de réaliser en aval du déversoir un réel bassin de dissipation. Les berges au voisinage du seuil sont également protégées avec des gabions. La grandeur d'un seuil est très variable (parfois plus de 500 m³ de gabions); celle de l'ouverture est calculée sur la base de la crue attendue une fois toutes les «n» années,(au Niger «n» varie entre 2 et 10).

Sur le terrain on commence par creuser les excavations (fondations) dans lesquelles les gabions sont ensuite posés. Après la pose des gabions, ceux-ci sont attachés (ligaturés) entre eux. Ensuite ils sont remplis avec des pierres (le plus souvent latéritiques), ramassées par les villageois et généralement transportées par camion. Les gabions sont fabriqués par ACREMA à Tahoua ou, artisanalement, par les villageois eux-mêmes.

Les zones d'application

Les seuils sont implantés dans les ravines, qui se trouvent surtout dans les bas-fonds des vallées. C'est dans ces zones que les terrains sont les plus fertiles (fadamas en Haoussa).

Coûts et bénéfices

désignation	quantité	prix unitaire	total par 10 m ³
main-d'oeuvre professionnelle :	-	-	4 000 - 8 000
vivres PAM, par ration fam. :	20 - 40	510	10 000 - 20 000
gabions, par m ³ :	10	9,800	98 000
matériel mécan. + carburant :	-	-	10 000 - 20 000
autre matériel :	-	-	3 000 - 6 000
total (F.CFA) :			125 000-152 000

Les bénéfices sont difficilement chiffrables car le but essentiel de l'ouvrage est d'assurer la protection des terrains contre le ravinement. Localement, sans la construction d'un seuil, les terrains actuellement cultivés seraient progressivement emportés.

Appréciation sur la technique utilisée

- Pour la construction et l'entretien d'un seuil, on a toujours besoin d'ouvriers spécialisés salariés.
- La conception de l'ouvrage, son dessin, son exécution et son entretien sont difficiles.
- Les seuils en gabions sont onéreux.
- On a besoin de matériaux et matériels en provenance de l'extérieur de la zone traitée: pour le transport des pierres, un camion ou des charrettes sont indispensables (on trouve rarement des pierres dans les vallées). Pour la fabrication des gabions, il est nécessaire d'acquérir du fil de fer et un métier (si la fabrication artisanale locale des gabions est adoptée).
- Ces ouvrages se trouvent sur des terrains communaux, ce qui réduit l'intérêt que portent les paysans à leur exécution; seuls les propriétaires des terres sises à côté des ravines sont intéressés.
- Souvent, l'ouverture réalisée au centre du seuil est trop petite, et il en résulte un contournement de l'ouvrage par l'eau et des dégâts importants se produisant sur le seuil.

A1-2 - Barrage/seuil en pierres sèches

Description (voir la figure A1-2)

Les barrages/seuils en pierres sèches sont en général, mais pas obligatoirement, plus petits que ceux en gabions. Leur volume dépasse rarement 130 m³. Pour résister à la force de l'eau, ils sont construits en forme d'escalier. Parfois, ils sont renforcés avec des pieux. Comme les seuils, ils sont ancrés dans les berges et le lit. Parfois un radier (tapis d'enrochements) est mis en place en aval de l'ouvrage. Pour traiter les amorces d'érosion superficielle (petites ravines), les gabions sont rarement utilisés, tandis que la réalisation d'ouvrage en pierres sèches est fréquente.

Pour les petites ravines ou ravines, les crues probables ne sont pas calculées ; elles sont «estimées». Après exécution des excavations, des pierres de grandes dimensions sont mises en place, et l'espace entre celles-ci est comblé à l'aide de petits enrochements. L'ouvrage est parfois renforcé par des pieux/piquets. Les outils à utiliser sont simples, à savoir des pelles, des pioches, des barre à mines. Généralement, il faut un camion ou des charrettes pour assurer le transport des pierres.

Les zones d'application

La zone d'application de ce type d'ouvrage est identique à celle des seuils en gabions, avec cependant la nuance qu'on ne les construit que dans les petites ravines (les seuils en gabions étant exécutés dans les grandes ravines).

D'une manière générale, ces ouvrages sont implantés en tête des bassins versants.

Figure A1-3 : Barrage/seuil en gabions

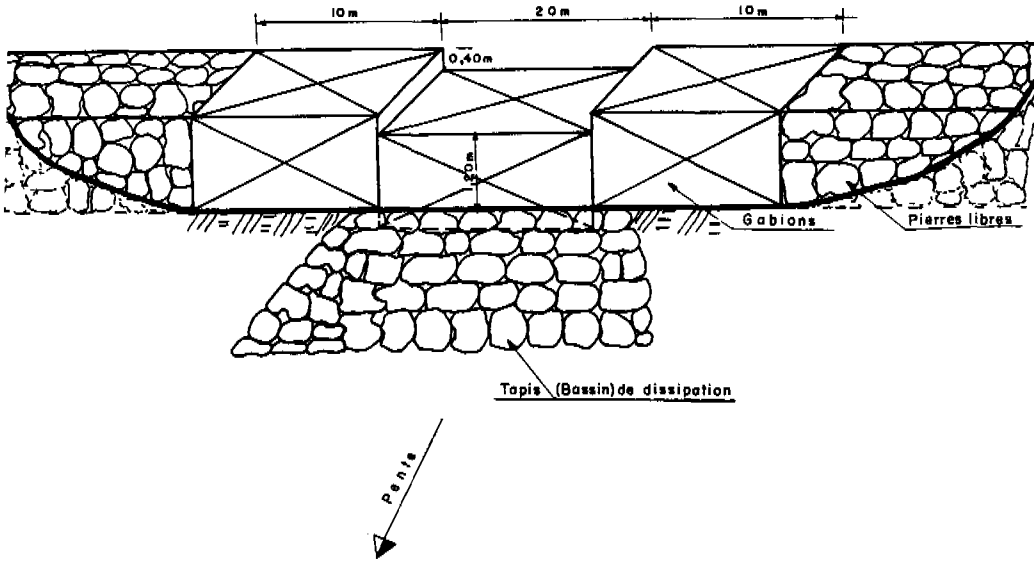
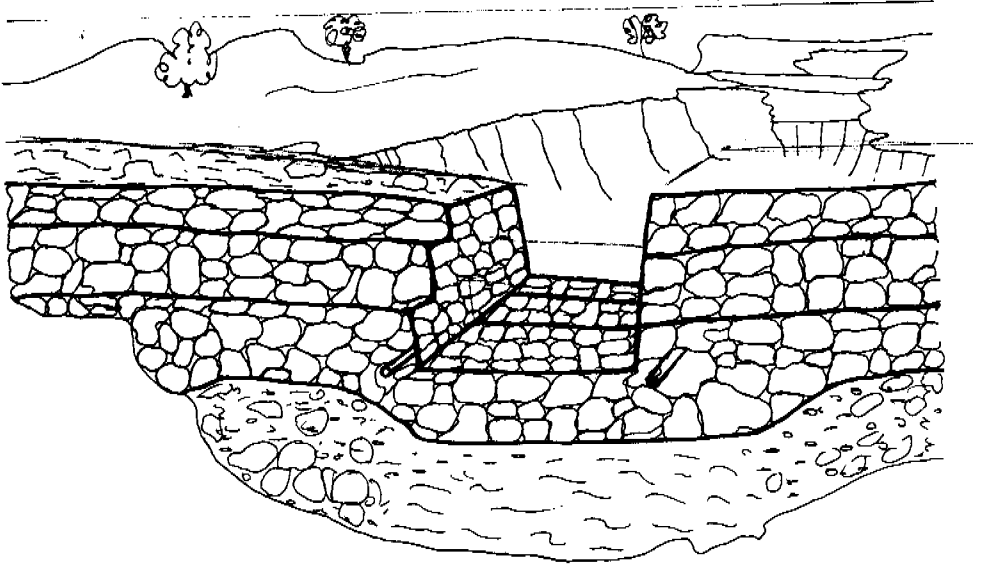
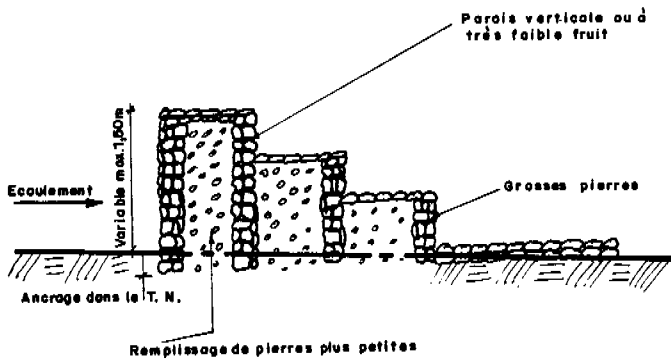


Figure A1-4 : Barrage/seuil en pierres sèches

a. vue en face



b. coupe transversale



Coûts et bénéfices

désignation	quantité	prix unitaire	total par 10 m ³
main-d'oeuvre professionnelle :	-	-	6 000 - 10 000
vivres PAM, par ration fam. :	25 - 70	510	13 000 - 36 000
matériel mécan. + carburant :	-	-	10 000 - 20 000
autre matériel :	-	-	500 - 1 000
total (F.CFA) :			<hr/> 29 500 - 67 000

Le bénéfice essentiel réside dans la protection des terrains contre le ravinement.

Appréciation sur la technique utilisée

- La technique de construction des barrages/seuils en pierres sèches est délicate, quoique le principe en soit simple: la présence d'un ouvrier spécialisé salarié est obligatoire.
- Seuls des matériaux locaux et des outils simples sont nécessaires, sauf cependant en ce qui concerne le transport des pierres (camion/charrettes).
- Les coûts sont relativement bas (comparés avec ceux des seuils en gabions).
- Les observations notées pour les seuils en ce qui concerne l'intérêt porté par les paysans à la réalisation de ce type d'ouvrage et le dimensionnement de la partie déversante (ouverture/déversoir), sont également applicables pour ces ouvrages en pierres sèches.

INTRODUCTION

Dans cette annexe plusieurs espèces ligneuses sont présentées avec leurs aptitudes en ce qui concerne leur adaptation aux différentes conditions physiques du milieu (climat, sol, situation hydrologique), et en ce qui concerne leurs qualités et utilité. Les espèces sont classées en quatre catégories :

1. Espèces indiquées pour produire des haies vives denses pour diminuer l'érosion hydrique.
2. Espèces indiquées pour produire du bois à court terme.
3. Espèces indiquées pour être protégées sur les champs pour leurs qualités productrices et ou protectrices (agroforesterie).
4. Espèces indiquées pour fixer des dunes et des sables mouvants.

Une comparaison des espèces selon les différents critères est présentée sous forme d'un tableau (tableau A2-1), dont les données de base sont surtout tirées de : Maydell, 1986; Guinaudeau, 1987; Kessler et Bboni, 1991.

1 - ESPECES INDIQUEES POUR PRODUIRE DES HAIES VIVES DENSES POUR DIMINUER L'EROSION HYDRIQUE

En général, ces espèces doivent avoir les propriétés suivantes :

1. ne pas être appréciées par le bétail,
2. être épineuses,
3. avoir une ramification dense,
4. ne pas avoir trop d'exigences concernant la pluviométrie et la fertilité du sol,
5. être faciles à planter.

Les espèces suivantes ont été utilisées dans les pays sahéliens.

1.1 - *Acacia nilotica* var. *adansonii*

Arbre ; préféré pour construire des haies.

De préférence sur les sols profonds sableux-limoneux, par exemple des dunes fossiles ou des champs de mil abandonnés. En cas de nappe phréatique élevée, conserve ses feuilles longtemps en saison sèche. Pas indiqué pour zones d'inondation.

Les graines doivent être traitées avant le semis. Semis direct possible.

Cette espèce est épineuse ; quand elle est bien taillée elle peut former des haies très denses.

L'espèce ne supporte pas trop de sécheresse (pas moins de 250 mm par an).

Avec une disponibilité en eau élevée, la croissance est assez rapide.

1.2 - *Acacia nilotica* var. *tomentosa*.

Arbre ; préféré pour construire des haies.

De préférence sur les sols argileux lourds, supporte aussi une inondation périodique assez prolongée. Arbre des bas-fonds et des bords de rivières ou de mares, barrages, etc.

Les graines doivent être traitées avant le semis. Semis direct possible.

Quand elle est bien taillée, cette espèce forme des haies très denses. L'espèce ne supporte pas trop de sécheresse (pas moins de 250 mm par an).

La croissance est relativement rapide.

1.3 - *Acacia sénégale*

Arbre ou arbuste ; utilisé comme haie vive dans les zones sèches. Très résistant à la sécheresse, poussant avec pluviométrie de 100 à 800 mm et une période de sécheresse de 8 à 11 mois. Préfère les sols sableux et les sols limoneux légers. Il faut un bon drainage.

Un traitement des graines est nécessaire.

L'espèce s'adapte bien à l'implantation grégaire.

L'espèce est moins épineuse et plus appréciée par le bétail que l'*Acacia nilotica* et sa croissance est médiocre.

1.4 - *Acacia seyal*

Arbre ; préféré pour construire des haies.

De préférence sur les sols argileux ; supporte aussi bien des inondations que des sécheresses périodiques. Se maintient aussi sur les sols pierreux, au bas des pentes, les sols alluviaux et les vallées.

Traitement des graines nécessaire. Régénération naturelle généralement forte.

Croissance rapide dans la jeunesse (plus de 8 m par an).

Très épineux et quand bien taillé peut former des haies très denses. Fourrage très recherché.

Ne supporte pas une pluviométrie de moins de 250 mm par an.

1.5 - *Bauhinia rufescens*

Arbuste ; préféré pour construire des haies.

Espèce très frugale, sur sols secs, sableux, pierreux, argileux et latéritiques. De préférence sols profonds et assez lourds.

Traitement des graines nécessaire.

Espèce non-épineuse mais peut quand même former des haies denses et efficaces. Préféré à *Acacia nilotica* à cause du manque d'épines, mais la croissance est plus lente.

Ne supporte pas trop de sécheresse.

1.6 - *Euphorbia balsamifera*

Arbuste ; préféré comme clôture vive et pour stabiliser le sable.

Commun sur un sous-sol sableux, sur des sables meubles ou dans des régions rocheuses. Supporte très bien la sécheresse.

Très facile à planter par des boutures, qui devraient avoir 50 cm de long environ. Les boutures survivent plusieurs mois sans eau.

Espèce non-broutable, le latex est toxique.

Pour former des haies impénétrables il faut renforcer cette espèce avec des espèces épineuses ou avec des branches épineuses.

1.7 - *Jatropha curcas*

Arbuste ; préféré comme clôture vive et pour stabiliser le sable.

De préférence sur des sols sableux, mais aussi sur d'autres sols avec un bon drainage.

Supporte bien la sécheresse. Très facile à planter par des boutures, qui devraient avoir 50 cm de long environ. Les boutures survivent plusieurs mois sans eau.

Espèce non-broutable et graines toxiques.

Pour former des haies impénétrables, il faut renforcer cette espèce avec des espèces épineuses ou des branches épineuses.

1.8 - Prosopis juliflora

Arbre ou arbuste, surtout indiqué pour les régions sèches, grâce à ses racines profondes (150 à 700 mm par an).

Sols sableux ou rocheux, pour autant que les racines ne butent pas sur des cuirasses latéritiques. Eviter des terrains mal drainés.

Convient très bien sur les dunes. Supporte la salinité et la pauvreté du sol.

Les graines doivent être ramollies par la digestion ou traitées.

Croissance rapide.

Espèce épineuse et indiquée pour former des haies, sinon, doit être taillée régulièrement parce que les branches s'étendent très vite.

1.9 - Ziziphus mauritiana

Arbre ou arbuste, surtout indiqué pour les régions sèches (150 à 500 mm par an). Espèce répandue dans la brousse (jachères!).

Pas de préférences spécifiques, mais semble éviter les sols argileux et les inondations.

Les graines doivent être traitées ; la régénération naturelle est forte. L'espèce est épineuse et indiquée pour construire des haies.

2 - ESPECES INDIQUES POUR PRODUIRE DU BOIS A COURT TERME

En général, ces espèces doivent avoir les propriétés suivantes :

1. croissance rapide au stade juvénile
2. ne pas avoir trop d'exigences concernant la pluviométrie et la fertilité du sol
3. facile à planter
4. tronc relativement droit.

Les espèces suivantes ont été utilisées dans les régions sahéliennes. Toutes ces espèces à croissance rapide ont des racines traçantes, ne favorisent pas la croissance des herbes ou des cultures et épuisent le sol rapidement.

2.1 - Azadirachta indica (neem)

Arbre toujours avec cime dense.

Espèce très rustique et résistant à la sécheresse. Pousse encore avec 150 mm de pluie. Préfère les sols légers (sablonneux) ; supporte une légère salinité. Ne supporte pas des inondations fréquentes.

Multiplication par plantation ou semis direct très facile.

Avec une pluviométrie entre 300 et 700 mm par an la croissance est rapide. Les résultats s'améliorent considérablement, en fonction de l'eau disponible et de la qualité du terrain.

Cette espèce, originaire de l'Inde, s'est montrée intéressante surtout pour les reboisements villageois à petite échelle. Pour les plantations à grande échelle cette espèce n'est pas indiquée.

Le bois s'utilise comme combustible ou pour la carbonisation et par endroits on le préfère à d'autres essences. A part cela, les perches, qui résistent très bien aux termites, sont très utilisées.

2.2 - Acacia holosericea

Arbre d'origine australienne.

Bien que demandant, sous des conditions normales, une pluviosité annuelle supérieure à 500 mm par an, il s'adapte également à des précipitations moins élevées, à condition qu'il puisse trouver une certaine humidité dans le sous-sol.

Croissance très rapide (maturité en 2 à 3 ans). Cette espèce a été expérimentée avec un certain succès dans les pays sahéliens pour produire du bois et également pour la fixation des dunes. La strate herbacée ne produit guère après plantation de cette espèce.

2.3 - Cassia siamea

Petit arbre toujours vert avec cime dense, d'origine asiatique.

Bien que demandant, sous des conditions normales, une pluviosité annuelle supérieure à 500 mm par an, il résiste à des sécheresses de longue durée si les racines ont atteint la nappe phréatique. Demande des sols profonds et relativement fertiles.

Avec une bonne pluviométrie la croissance est très rapide. Le bois est beaucoup utilisé comme combustible et également pour la construction. Multiplication par semences ou par bouturage facile et rapide.

2.4 - Eucalyptus camaldulensis

Arbre élevé toujours vert, d'origine australienne.

Pousse bien avec des précipitations annuelles supérieures à 250 mm, mais supporte bien une sécheresse de plus de 8 mois. Prospère encore sur les sols médiocres, pauvres, là où aucune autre essence pousse, supporte également de courtes inondations.

Espèce qui rejette très facilement des souches, facile à multiplier. Cette espèce est la plus cultivée et propagée par les forestiers pour produire du bois, surtout des perches droites. Indiqué pour les plantations villageoises (à petite échelle) et les plantations industrielles (à grande échelle). Les perches doivent être traitées contre les termites. Il est bien connu que la litière de cette espèce ne se décompose pas facilement, ce qui empêche le développement de la strate herbacée.

3 - ESPECES INDIQUEES POUR ETRE PROTEGEES SUR LES CHAMPS POUR LEURS QUALITES PRODUCTRICES ET/OU PROTECTRICES (AGROFORESTERIE)

En général, ces espèces doivent avoir les propriétés suivantes :

1. production de fruits, graines, etc... ; recherchés/utilisables,
2. espèces qui n'épuisent pas le sol (généralement à croissance lente),
3. ne gênent pas, autant que possible, les cultures au-dessous, et ont des propriétés qui améliorent le sol.

Les espèces suivantes se trouvent dans les pays sahéliens.

3.1 - Acacia tortilis

Arbre ou arbuste avec une cime assez dense.

Végète sur les sols sableux et sur les dunes consolidées.

Très résistant à la sécheresse, se trouve au bord du désert. Prétraitement des graines nécessaire ; croissance lente, sauf dans les endroits humides.

Espèce très intéressante également pour des conditions extrêmes, par exemple pour la fixation du sable.

Fournit un excellent bois et un fourrage très apprécié.

3.2 - Adansonia digitata (baobab)

Arbre avec tronc assez gros.

De préférence sur sols profonds et humides, ne supporte pas d'inondations ou sols lourds.

A souvent été planté autour des villages.

Résiste bien à la sécheresse (250 à 1000 mm par an).

Prétraitement des graines nécessaire, jeunes plantes très appréciées par le bétail. La régénération naturelle est donc rare à observer.

L'arbre le plus utile aux pays sahéliens, plus de 30 différentes utilisations sont connues, les feuilles sont très nutritives.

3.3 - *Balanites aegyptiaca*

Arbre ou arbuste toujours vert à cime assez dense.

De préférence sur des sols arides sableux, mais très peu exigeant quant au sol. Résiste bien au pâturage.

Résiste très bien à la sécheresse.

Les graines traitées germent assez bien, le semis direct est aussi possible. Croissance rapide au stade juvénile.

Arbre très utile : les fruits, les feuilles et le bois sont très recherchés. Utilisable pour les haies vives et pour la fixation de sable sous des conditions extrêmes.

3.4- *Faidherbia albida*

Grand arbre qui perd ses feuilles pendant la saison des pluies. Essence très plastique, pousse avec des précipitations de 300 à plus de 1800 mm/an, supporte des sécheresses longues et des inondations.

Exigeant quant à la structure et à la richesse du sol ; il réclame aussi la présence d'une nappe phréatique qu'il doit atteindre avec sa racine pivotante. Il lui faut donc des sols humides en profondeur (p.e. des vallées).

Prétraitement des graines nécessaire ; facile à planter. Régénération naturelle parfois très forte ; il se rejette facilement par souches. Croissance lente à médiocre. Espèce recherchée pour son fourrage et considérée comme améliorante du sol. Les cultures sous l'arbre poussent bien.

3.5 - *Lannea acida* (raisinier)

Arbre, perd ses feuilles en saison sèche.

Exigences peu connues, en général sur les sols sablo-limoneux ou argileux, ne supporte pas l'inondation.

Arbre de la zone soudanienne: au moins 600 mm/an de pluie.

Prétraitement des graines nécessaire, croissance médiocre.

Fruits très recherchés ; arbre assez commun.

3.6 - *Parkia biglobosa* (nééré)

Arbre à cime dense et branches étendues.

De préférence sur sols profonds, limono-sableux ; ne supporte pas l'inondation.

Arbre de la zone soudanienne : au moins 500 mm/an de pluie.

Prétraitement des graines possible, croissance lente. Après 15 à 20 années on atteint une production élevée.

Arbre moins répandu que le karité, mais ses produits sont plus recherchés et commercialisés.

Fruits et graines sont utilisés, par exemple pour faire le soumbala. Comme l'arbre a souvent des branches descendantes, les cultures ne poussent pas bien au dessous.

3.7 - *Tamarindus indica* (tamarinier)

Arbre à cime dense, toujours vert.

De préférence sur sols profonds et alluviaux, mais très peu exigeant quant au sol. De préférence sur les sols avec nappe phréatique proche. Ne supporte pas l'inondation. Adapté aux conditions semi-arides (400 mm de pluviométrie par an) mais supporte aussi les conditions humides.

Germination facile des graines, croissance relativement lente, les premiers fruits sont produits après 8 à 12 années.

Plusieurs produits sont recherchés, surtout les feuilles et les fruits. Les cultures sous l'arbre ne poussent généralement pas bien.

3.8 - Vitellaria paradoxa (karité)

Arbre à cime assez dense, perd ses feuilles en saison sèche.

De préférence sur sols sablo-argileux, fertiles, mais on le trouve aussi sur les sols pierreux et pauvres. Ne tolère pas l'inondation et les sols assez lourds.

Arbre de la zone soudanienne : 500-1500 mm de pluviométrie annuelle

Graines à semer directement après leur récolte, croissance lente, production optimale après 25 à 40 années.

Arbre le plus répandu sur les champs, fruits et amandes recherchés et commercialisés. Ne gêne guère les cultures au-dessous.

4 - ESPECES INDIQUEES POUR FIXER DES DUNES ET DES SABLES MOUVANTS

En général, ces espèces doivent avoir les propriétés suivantes :

1. s'adapter aux conditions arides,
2. avoir une préférence pour les sols légers,
3. ne pas être trop appréciées par le bétail,
4. supporter des sols pauvres,
5. supporter l'ameublissement des sables.

Les espèces suivantes sont en particulier utilisées dans ce contexte ; d'autres ont déjà été mentionnées ci-dessus.

4.1 - Calotropis procera

Petit arbre ou arbuste à cime ouverte.

De préférence sur des sols sableux, typique des sols fortement dégradés.

Très peu d'exigences ; supporte bien la sécheresse.

Le latex est toxique mais on l'utilise beaucoup dans la médecine locale. Seuls les jeunes pousses sont appréciées par le bétail.

L'espèce peut être utilisée pour consolider les terrains sableux et fixer les dunes.

4.2 - Leptadenia pyrotechnica

Arbuste avec feuilles vertes, glabres.

De préférence sur des sols sableux secs et sur les dunes mouvantes. Cette espèce supporte très bien la sécheresse et on la trouve à la limite nord du sahel sur les dunes vives.

Bien que n'atteignant pas de grandes dimensions, elle peut être employée en rangées pour la fixation des sols sableux.

L'espèce est quand même assez appréciée par les chèvres et les chameaux.

4.3 - Parkinsonia aculeata

Arbuste épineux, toujours vert.

Répandu sur les sols sableux.

Il s'adapte et survit bien avec une pluviométrie de 200-400 mm par an.

Il est utilisé comme haie et pour la fixation des sols sableux.

A cause des épines, l'espèce n'est pas appréciée par le bétail.

Tableau A3-1 : *Applicabilité et qualités des ligneux fréquemment utilisés en zones soudanienne et sahélienne en Afrique de l'Ouest*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Acacia nilotica	0	0	x	0	0	0	-	x	0	0	0
var. adansonii											
Acacia nilotica	x	x	-	-	0	0	-	x	0	0	0
var. tomentosa											
Acacia sénégale	-	0	x	0	-	0	0	x	x	0	0
Acacia seyal	x	x	-	0	-	0	-	x	0	0	0
Bauhinia rufescens	-	0	x	0	-	0	-	x	-	0	0
Euphorbia balsamifera	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-
Jatropha curcas	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-
Prosopis juliflora	-	-	x	x	x	0	0	0	0	0	0
Ziziphus mauritiana	-	-	x	0	-	0	-	x	-	-	0
Azadirachta indica	-	0	x	0	0	x	-	-	0	0	x
Acacia holosericea	-	?	?	0	0	?	-	-	-	-	x
Cassia siamea	-	0	0	0	x	x	-	-	-	0	x
Eucalyptus camaldulensis	0	x	x	0	0	x	-	-	0	-	x
Acacia albida	0	x	x	0	x	0	-	-	x	x	-
Acacia tortilis	-	-	x	x	-	0	x	-	0	x	-
Adansonia digitata	-	-	x	0	0	0	-	-	x	x	-
Balanites aegyptiaca	-	0	x	x	-	x	0	-	x	x	-
Butyrospermum parkii	-	0	x	-	0	-	-	-	x	x	-
Lannea acida	-	0	x	-	0	?	-	-	x	x	-
Parkia biglobosa	-	0	x	-	0	-	-	x	x	-	-
Tamarindus indica	-	0	x	-	x	x	-	-	x	x	-
Calotropis procera	-	-	x	x	-	x	x	-	0	-	-
Leptadenia pyrotechnica	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	-
Parkinsonia aculeata	-	-	x	x	-	?	x	x	-	-	0

Légende tableau A2-1

- 1 résistance aux inondations
- 2 sols lourds
- 3 sols sableux
- 4 régions sèches (pluie < 400 mm par an)
- 5 nappe phréatique peu profonde écessaire
- 6 multiplication facile
- 7 fixation des sables
- 8 utilisation comme haie vive
- 9 produits recherchés (autre que le bois)
- 10 indiqué pour l'agroforesterie
- 11 production rapide de bois.

x : apte/oui
0 : médiocre
- : inapte /non
nécessaire
