

EFFET SYNERGIQUE DES TECHNIQUES DE GESTION DE L'EAU ET DES NUTRIMENTS SUR LE RUISSELLEMENT ET L'EROSION EN ZONE SEMI-ARIDE DU BURKINA FASO

R. Zougmore^{1,2*}, A. Mando¹, J. Ringersma², L. Stroosnijder²

1 Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP 8645, Ouagadougou 03 Burkina Faso, Tél: (226) 44-65-10 Fax: (226) 34-02-71, E-mail: rb_zougmore@hotmail.com

2 Wageningen University, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil & Water Conservation Group, Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen, The Netherlands

Résumé

Dans les zones semi-arides d'Afrique sub-saharienne, l'insuffisance d'eau dans le sol est un facteur limitant de l'utilisation efficace des engrais minéraux mais aussi de la libération des nutriments provenant de la minéralisation des ressources organiques. En outre, le ruissellement dans ces régions est un des principaux facteurs de perte importante de nutriments provenant des apports minéraux et/ou organiques. Cette étude a été conduite dans la zone de climat nord-soudanien du Burkina (pluviosité annuelle : 800 mm, ETP annuelle : 2000 mm) pour évaluer l'effet combiné et l'interaction des barrières semi-perméables (cordon pierreux, bande enherbée) et des apports d'azote organique ou minéral sur l'érosion et la production du sorgho. Le dispositif expérimental (sol ferrugineux tropical lessivé peu profond de pente 1,5%) est un bloc de Fisher avec neuf (9) traitements et deux (2) répétitions. Les barrières filtrantes (ou mesures CES) sont installées sur les courbes de niveau et combinées avec des apports de compost, de fumier et d'engrais azoté. Le ruissellement a été réduit de 59% en moyenne sur les traitements avec mesures CES + apport de compost et de 41% sur les traitements mesures CES + apport d'engrais minéral azoté en comparaison au témoin sans barrière ni apport de nutriments. La réduction du ruissellement a été plus importante sur les traitements avec cordon pierreux (61%) que sur les traitements avec bande enherbée (45%). En moyenne, les cordons pierreux réduisent l'érosion (50%) plus que les bandes enherbées (44%). Les barrières filtrantes sans apport de nutriments n'ont pas eu d'effet significatif notable sur la production de sorgho. Les apports de compost ou de fumier combinés aux cordons pierreux ou aux bandes enherbées ont entraîné une augmentation de rendement en grains de sorgho de 180% alors que les mêmes barrières combinées à l'engrais minéral azoté n'ont augmenté le rendement que de 70%. A un mètre en amont des cordons pierreux, le rendement du sorgho a été de 45 à 60% plus élevé qu'à 17 mètres en amont des cordons. Avec les bandes enherbées, le rendement était de 35 à 60% moins élevé à 1 mètre qu'à 17 mètres en amont. Les barrières semi-perméables optimisent l'utilisation des nutriments des plantes et améliorent ainsi la production agricole. Cependant, il est nécessaire d'effectuer une gestion des bandes enherbées pour éliminer leur effet ombrage et les autres effets négatifs induits sur les premières lignes de sorgho à proximité des bandes.

Mots clés : cordon pierreux, bande enherbée, nutriments, sorgho, Burkina Faso

ABSTRACT

Fertilizer recovery and nutrient release from organic sources are often moisture limited in the semi-arid regions of the sub-Saharan Africa. Moreover, runoff in these regions is responsible for the high nutrient loss from applied mineral or organic inputs. This study was conducted on the central plateau of Burkina at Saria agricultural research station. The objective was to assess the combined and interactive effects of soil and water conservation (SWC) measures (stone-rows and grass-strips of *Andropogon gayanus* Kunth cv. *Bisquamulatus* (Hochst.) Hack.) and organic/mineral sources of nitrogen on erosion control and sorghum performance. The climate of the research zone is of north soudanian type with an average of 800 mm rainfall and a PET of more than 2000 mm per

year. The soil was a Ferric Lixisol and the slope was 1.5%. The experimental design consisted in two replications of 9 treatments in which stone-rows or grass-strips were installed on contour lines and combined with compost, animal manure, and mineral nitrogen. Runoff was reduced by an average of 59% in plots with SWC measures + compost or animal manure and 41% in plots with SWC measures + mineral fertilizers compared to the control plot. Runoff reduction was more important in plots with stone-rows (62%) than with grass-strip (45%). On average stone-rows reduced soil erosion (50%) more than grass-strip (44%). Stone rows or grass strips without fertilization didn't induce significant increase of sorghum production. Supplying compost or animal manure in combination with stone-rows or grass-strips resulted in sorghum grain yield increase of about 180%, while the same SWC measures combined with mineral fertilizers induced an increase of about 70%. At one-meter upslope from the stone-rows, sorghum grain yields were 45 to 60% greater than those obtained at 17 m from the stone-rows. This was 35 to 60% smaller for treatments with grass-strips. SWC measures improve nutrient use efficiency and therefore crop production. However, it is essential to proceed to a proper management of grass-strips to alleviate shade and other negative effects of the bunds on crops next to them.

Keywords: Stone-rows, grass-strip, nutrient input, sorghum, Burkina Faso

INTRODUCTION

La dégradation des sols est un problème majeur pour les pays du Sahel (Lal, 1998). Dans cette zone, les effets combinés du faible niveau de fertilité du sol, de la mauvaise gestion d'un écosystème déjà fragile et des conditions climatiques très sévères ont abouti à une production primaire très faible (Mando et al., 2001). En Afrique sub-saharienne, l'agriculture est en grande partie dominée par les systèmes de culture à base de céréales qui représentent 97% des productions pluviales (FAO, 1995). La proportion d'eau de pluie qui atteint la zone racinaire ou qui est perdue plus que la faible pluviosité annuelle est la principale contrainte à la production des cultures (Sivakumar et Wallace, 1991). En outre, les sols sont très pauvres en nutriments, en particulier en azote et en phosphore, ce qui signifie que l'insuffisance d'eau et de nutriments sont les principaux facteurs limitants de la croissance des cultures (Stroosnijder, 1996). De ce fait, maximiser l'utilisation des eaux pluviales n'est que faiblement bénéfique si cela n'est pas associé à la correction de la déficience du sol en nutriments. De même, les apports de nutriments dans des conditions hydriques de sol non optimales n'est pas du tout bénéfique.

Plusieurs études ont démontré les effets bénéfiques des barrières semi-perméables telles que les cordons pierreux et les haies vives sur le bilan hydrique du sol (Lamachère et Serpantié, 1991; Perez et al., 1998). Ces techniques sont particulièrement efficaces pour réduire le ruissellement et améliorer l'infiltration des eaux de pluie. Elles réduisent également le transport des sédiments fins grâce à leur caractère filtrant (Mando et al., 2001). Certaines études ont montré qu'en système de culture continue de céréale sans apport de nutriments, les effets bénéfiques des cordons pierreux sur la productivité du sol étaient limités (Walle et Sims, 1999; Zougmore et al., 2002). Cela implique que l'utilisation efficiente de l'eau aille de paire avec celle des nutriments. Il ressort de ce fait un besoin urgent de traiter simultanément les aspects eau et nutriments pour assurer la durabilité des systèmes de production agricoles.

Les ressources organiques jouent un rôle déterminant aussi bien dans la mise à disposition des éléments nutritifs à court terme que dans la maintenance du stock de MO dans les systèmes de culture des petites exploitations dans le Sahel. L'une des voies pour atteindre ces objectifs en Afrique sub-saharienne est l'utilisation des ressources organiques disponibles telles que fumier, compost en combinaison avec des techniques de collecte d'eau (Piéri, 1989; Morin, 1993). L'objectif de cette étude était d'évaluer l'interaction de deux techniques de conservation des eaux et des sols (CES) combinés à un apport d'azote organique ou minéral sur la production du sorgho et le contrôle de l'érosion des sols. Le but est de vérifier si les mesures de CES pourraient optimiser l'utilisation des nutriments par la culture de sorgho en conditions soudano-sahéliennes.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Site d'étude et dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est localisé dans la station de recherches agricoles de Saria (12°16' N, 2°9' W, 300 m d'altitude) au Burkina Faso. Le climat est de type nord-soudanien (Fontes et Guinko, 1995). La pluviosité moyenne annuelle des trente dernières années est de 800 mm. La saison des pluies dure pendant six (6) mois de mai à octobre. La distribution des pluies est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les températures moyennes journalières varient entre 30°C en saison pluvieuse à 35°C en avril et mai. L'ETP annuelle est de 2096 mm en année sèche et 1713 mm en année humide (Somé, 1989). Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé peu profond (ferric lixisol, FAO-UNESCO, 1994) avec une pente moyenne de 1,5% et une cuirasse à 70 cm de profondeur. Les teneurs en carbone organique (<6 g kg⁻¹), N (<0,5 g kg⁻¹), K échangeable (46 mg kg⁻¹) et P assimilable (<15 mg kg⁻¹) sont très faibles. La CEC est faible (2 à 4 cmol kg⁻¹) et le taux de saturation en bases tombe de 70% en surface à 30-50% à 80cm de profondeur. Le pH eau décroît de 5,3 en surface à 4,9 en profondeur.

La végétation est de type savane arborée (Fontes et Guinko, 1995) avec comme principales espèces *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa* and *Tamarindus indica*. La strate herbacée est dominée par *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon sp.* et *Loudetia togoensis*. L'essai a débuté en 2000 et a consisté en une combinaison de techniques linéaires de CES avec des ressources azotées. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc de Fisher avec neuf (9) traitements et deux (2) répétitions :

- T0 : témoin, sans mesure CES ni apport de nutriment azoté
- Tcp : cordons pierreux seuls
- Tcpc : cordons pierreux + compost
- Tcpf : cordons pierreux + fumier
- Tcpm: cordons pierreux + urée
- The : bandes enherbées seules
- Tbec : bande enherbée + compost
- Tbef : bande enherbée + fumier
- Tbem: bande enherbée + urée

Les traitements Tbef (bande enherbée + fumier) et Tcpf (cordons pierreux + fumier) ont été remplacés en année 2001 respectivement par Tc (aucune mesure CES, application de compost) et Tm (aucune mesure CES, application d'urée). Chaque parcelle (100m de long et 25m de large) est délimitée en amont de parcelle et sur les flancs par une diguette en terre de 0,6m de hauteur. Au milieu de chaque parcelle, on a délimité une placette de 100m de long et 1m de large pour collecter le ruissellement et les sédiments. Ces derniers sont recueillis dans un bassin en béton de 6m³ de volume. Les bassins peuvent contenir le ruissellement d'une pluie de 120mm. Un appareil permettant de mesurer la hauteur de l'eau (Diver) est placé au fond de chaque bassin pour déterminer le volume d'eau ruisselé dans le temps. L'intensité de pluie est obtenue à l'aide d'un pluviomètre automatique à système basculant. Dans chaque parcelle, on a délimité 36 placettes de 10m sur 2m pour suivre l'humidité du sol et mesurer le rendement du sorgho en fonction de la distance par rapport aux mesures de CES. Ces placettes sont situées par paire à 99, 96, 83, 78, 70, 67, 65, 62, 50, 45, 37, 34, 32, 29, 17, 12, 4 et 1m de la base de chaque parcelle. Les cordons pierreux et les bandes enherbées ont été installés pendant la saison pluies 1999 avec un espacement entre mesure CES de 33m (Zougmore et al., 2000) soit trois (3) barrières par parcelle. Les mesures de CES ont été placées selon les courbes de niveau. Les cordons pierreux comprennent deux (2) lignes de pierres placées sur un sillon de 5-10cm de profondeur. La première ligne est constituée de grosses pierres dressées tandis que la seconde ligne est constituée de petites pierres qui supportent et stabilisent les grosses pierres de la première ligne. La hauteur moyenne d'un cordon pierreux est de 0,2 à 0,3 mètres et un mètre de cordon utilise de 880 à 90 kg de pierres. Les bandes enherbées

sont constituées de trois (3) lignes intercalées de plants d'*Andropogon gayanus* qui forment une barrière dense de 0,3 m de large. Une variété de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de 110 jours (variété Sariasso 14) a été semée dans toutes les parcelles à la densité de 31250 poquets par hectare. Deux (2) désherbages sont réalisés chaque année. Le compost, le fumier et l'engrais azoté ont été incorporés dans le sol au labour à la traction bovine. Le fumier et le compost ont été appliqués à la dose de 50 kg ha⁻¹ de N. L'azote minéral a été appliqué à la même dose sous forme d'engrais urée dosé à 46% N. Les doses d'application ont été calculées à partir des données de Berger (1996) qui ont montré que le fumier contient en moyenne 1% d'azote et le compost 0,7% d'azote. Le modèle QUEFTS (Janssen et al., 1990) a été utilisé pour déterminer les besoins en nutriments azotés de la culture à partir des teneurs en carbone et du pH du sol. Toutes les parcelles ont reçu une fumure de base phosphatée de 20 kg ha⁻¹ P sous forme de TSP en vue d'éliminer la déficience en phosphore sur tous les traitements.

2.2. Collecte de données et méthode d'analyses

Le ruissellement a été mesuré et analysé sous forme d'hydrogramme pour chaque pluie ayant causée du ruissellement. Les pertes de sédiments par érosion ont été quantifiées en pesant les sédiments recueillis dans les bassins après chaque pluie ruisselante. Le ruissellement et l'érosion ont été analysés à partir de 10 pluies érosives en 2000 et 9 pluies érosives en 2001. Les pluies du 24/08/2000 (31mm) et du 02/07/2001 (28mm) ont été utilisées comme exemple dans cette étude pour montrer le processus du ruissellement et de l'érosion en fonction des traitements. Ce sont les plus fortes pluies ayant entraînés du ruissellement et de l'érosion. En 2000, l'humidité du sol a été mesurée (06/08 et 18/10) par la méthode gravimétrique aux horizons 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm et 30-50cm. Des échantillons composites ont été prélevés dans chaque placette à cet effet. En année 2001, l'humidité du sol a été mesurée par la méthode tensiométrique (TDR-TRIME-FM) selon les horizons 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm et 60-80cm. Le système TDR met en relation l'humidité volumique du sol (cm³ H₂O cm⁻³ de sol) avec constante diélectrique du sol (Topp et al., 1980). Des tubes d'accès tensiométriques ont été placés dans le sol durant la saison pluvieuse 2000 dans chaque traitement à 0,1m, 1m, 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m, 17m en amont des premières barrières filtrantes de chaque traitement et à 1m, 2m et 4m en leur aval. Trois (3) lectures sont faites par tube. Les rendements en grain et en tige du sorgho ont été mesurés par placette. Le logiciel STATITCF a été utilisé pour l'analyse statistique des données d'humidité de sol et de rendements de sorgho. Le test de Newman Keuls a été utilisé pour ressortir les différences significatives entre les traitements à la probabilité P < 0,05.

3. RESULTATS

3.1. Pluviosité

Le total pluviométrique était de 796mm en année 2000 et 719mm en année 2001. La pluviosité des deux années a donc été inférieure à la moyenne annuelle observée dans la zone (800mm). En 2000, on a enregistré 43 pluies avec quatre (4) pluies exceptionnelles de 53mm, 56mm, 81mm et 127mm durant le mois de juillet. En année 2001, 56 pluies sont tombées sur le site d'étude. Elles étaient toutes inférieures à 40mm et bien distribuées dans le temps. La figure 1 montre les caractéristiques pluviométriques par décade pour les deux (2) années. De juin (période de semis du sorgho) à octobre (période de maturation), la distribution des pluies dans le temps était meilleure en 2001 qu'en 2000, ce qui a entraîné une production de sorgho en 2001 meilleure qu'en 2000 (Tableau 4). Une période sans pluie de 13 jours a été observée en début septembre 2000 (Figure 1a) ; elle coïncide avec la phase de maturité du sorgho. Le total mensuel en septembre 2000 était de 65mm contre 131mm en septembre 2001.

Figure 1b: Pluviosité annuelle cumulée en 2000 et 2001 à Sarria

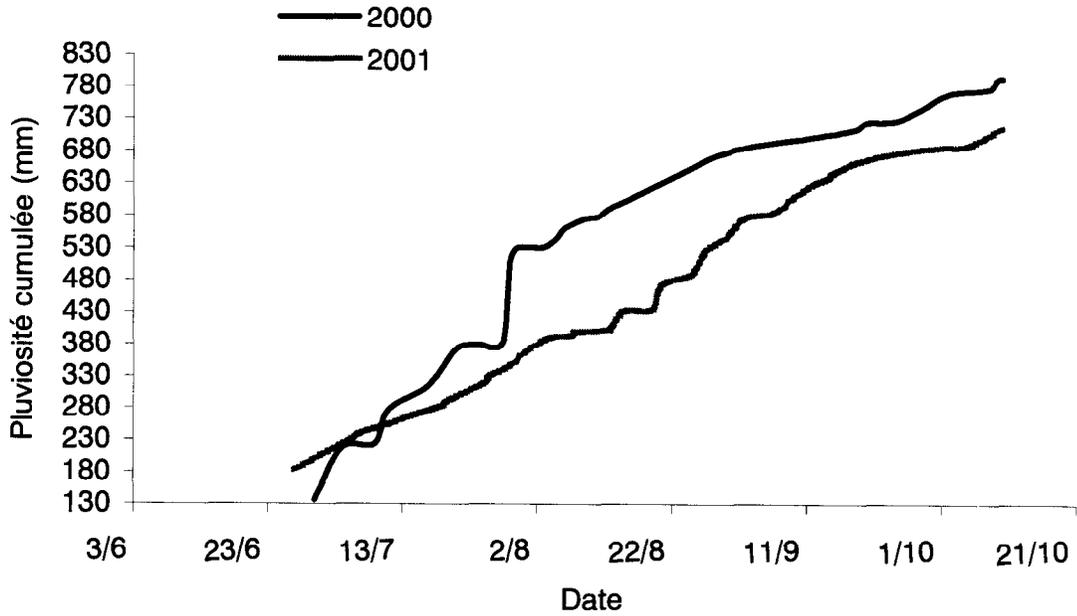
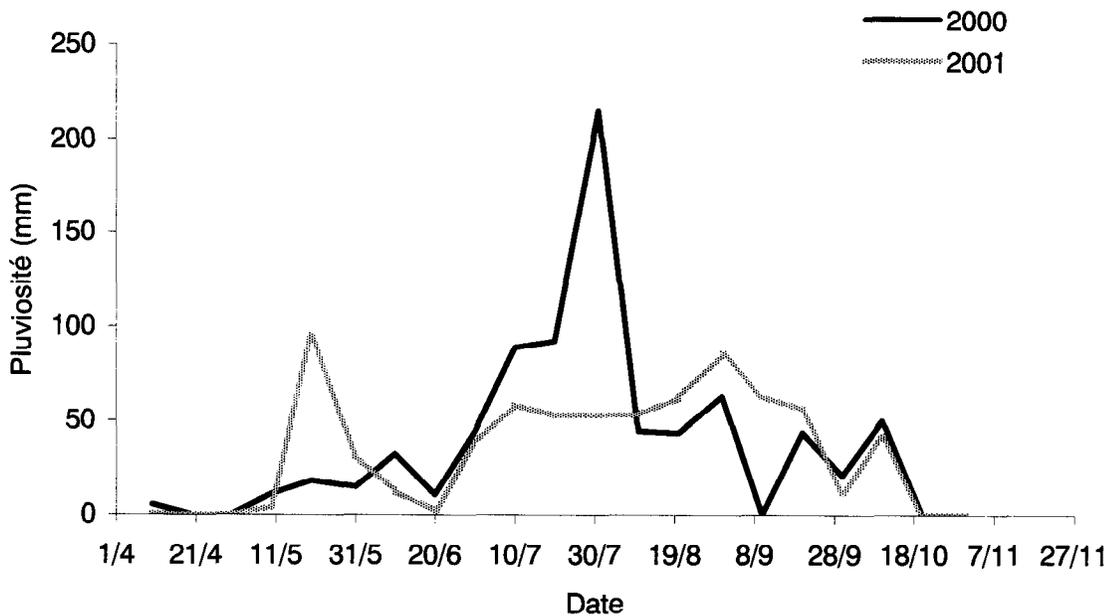


Figure 1a: Pluviosité décadaire en 2000 et 2001 à Sarria



3.2. Ruissellement

En année 2000, tous les traitements réduisent le ruissellement comparés au traitement témoin (Tableau 1). Le taux moyen de réduction du ruissellement était de 53% pour les traitements cordons pierreux contre 45% pour les traitements bandes enherbées. Comparés par paires (T_{cp}/T_{be}, T_{cp}c/T_bec, T_{cp}f/T_bef, T_{cp}m/T_bem), le ruissellement dans les traitements cordon pierreux étaient toujours plus faibles que dans les traitements bandes enherbées. Le tableau 1 montre que cette différence de ruissellement entre cordons pierreux et bandes enherbées était faible sur les traitements avec application de compost (2%), suivis des traitements avec application de fumier (5%), des traitements sans application de fumure (7%) et des traitements avec application d'engrais minéral azoté (19%). Le ruissellement était plus réduit dans les traitements avec application de compost que dans les autres traitements (application de fumier ou d'engrais minéral) et cela est vérifié aussi bien en combinaison avec les cordons pierreux ou les bandes enherbées. Le classement par ordre décroissant de ruissellement donne pour l'année 2000 T_{cp}c, T_bec, T_{cp}f, T_bef, T_{cp}, T_be, T_{cp}m, T_bem et T₀. En 2001, le classement était le suivant : T_{cp}m, T_{cp}c, T_{cp}, T_bec, T_be, T_m, T_c, T_bem et T₀ (Tableau 2). Tous les traitements sans mesure de CES ont obtenu les plus faibles ruissellements. Comparés au témoin, l'application de compost (T_c) réduit le ruissellement de 33% tandis que l'application d'engrais minéral azoté TM réduit le ruissellement de 46%. La réduction du ruissellement est plus importante quand on combine l'aménagement de cordons pierreux avec l'application de compost (74%) ou les bandes enherbées avec le compost (63%). La combinaison des mesures de CES (cordon, bande enherbée) avec l'application d'engrais minéral azoté réduit aussi le ruissellement (réduction jusqu'à 65% pour cordon pierreux+urée et 22% pour bande enherbée + urée). Les ressources organiques apparaissent comme étant plus efficaces à réduire le ruissellement que les ressources minérales.

Tableau 1 : Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion de 10 évènements pluvieux (pluviosité cumulée : 199,8mm) pendant l'hivernage 2000 à Saria, Burkina Faso

	T ₀	T _{CP}	T _{CPM}	T _{CPF}	T _{CPC}	T _{BE}	T _{BEM}	T _{BEF}	T _{BEC}
Ruissellement cum. (mm)	31,7	14,2	16,6	14,9	13,5	16,5	22,7	16,5	14,1
Taux de réduction Ruis. (%)	0	55	48	53	58	48	29	48	56
KRAM (%)	15,9	7,1	8,3	7,5	6,8	8,3	11,4	8,2	7,1
Ruis. du 24.08.2000 (mm)	8,4	3	2,8	1,7	2,5	2,7	5,9	2,2	2,2
Pertes en terre (kg ha ⁻¹)	217	98	136	86	67	150	105	97	145
Taux de réduction érosion (%)	0	55	38	60	69	31	52	55	33

Cum.: cumulée; Ruis.: ruissellement; KRAM: coefficient de ruissellement annuel moyen; T₀: témoin, sans mesure CES ni apport de nutriment azoté ; T_{cp}: cordons pierreux seuls ; T_{cp}c: cordons pierreux + compost ; T_{cp}f: cordons pierreux + fumier ; T_{cp}m: cordons pierreux + urée ; T_be: bandes enherbées seules ; T_bec: bande enherbée + compost ; T_bef: bande enherbée + fumier ; T_bem: bande enherbée + urée

Tableau 2 : Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion de 9 évènements pluvieux (pluviosité cumulée : 237,5mm) pendant l'hivernage 2001 à Saria, Burkina Faso

	T ₀	T _M	T _C	T _{CP}	T _{CPM}	T _{CPC}	T _{BE}	T _{BEM}	T _{BEC}
Ruissellement cum. (mm)	28,87	15,58	19,56	8,38	10,05	7,58	14,04	22,56	10,72
Taux de réduction Ruis. (%)	0	46	32	71	65	74	51	22	63
KRAM (%)	12,2	6,6	8,2	3,5	4,2	3,2	5,9	9,5	4,5
Ruis. du 24.08.2000 (mm)	12,2	2,6	4,1	2,4	3,6	2,2	6,7	11,6	2,4
Pertes en terre (kg ha ⁻¹)	236	116	113	71	52	50	99	171	108
Taux de réduction érosion (%)	-	34	35	47	52	52	39	18	36

cf. tableau 1 pour la légende

Les hydrogrames des pluies 24/08/2000 et 02/07/2001 (Figure 2) montrent que les traitements ont un effet significatif sur le processus du ruissellement. Sur les traitements avec application d'engrais minéral azoté et sans application de fumure (Tcp, Tbe, Tcpc, Tbem, T0), le ruissellement a débuté à 17h10mn i.e. 10mn après le démarrage de la pluie (Figure 2a). L'intensité du ruissellement était très faible ($<3,6 \text{ mm h}^{-1}$) durant les 30 premières minutes et est devenue plus élevée ($14,4 \text{ mm h}^{-1}$) durant les 20mn suivantes. Dans les traitements avec application d'amendement organique (Tcpc, Tbec, Tbef, Tcpf), le ruissellement a débuté à 17h20mn, i.e. 20mn après le démarrage de la pluie ((Figure 2b). L'intensité du ruissellement était très faible ($<3,6 \text{ mm h}^{-1}$) pendant les 50 premières mn de pluie et devint légèrement plus élevée durant les 10mn suivantes. Le ruissellement était moins intensif ($7,2 \text{ mm h}^{-1}$) et a duré moins longtemps (20mn) dans les traitements avec application de ressources organiques (Figure 2) que les traitements avec application de ressources minérales.

Figure 2a: Intensité du ruissellement par traitement pour la pluie du 24/08/2000 (31mm) à Saria

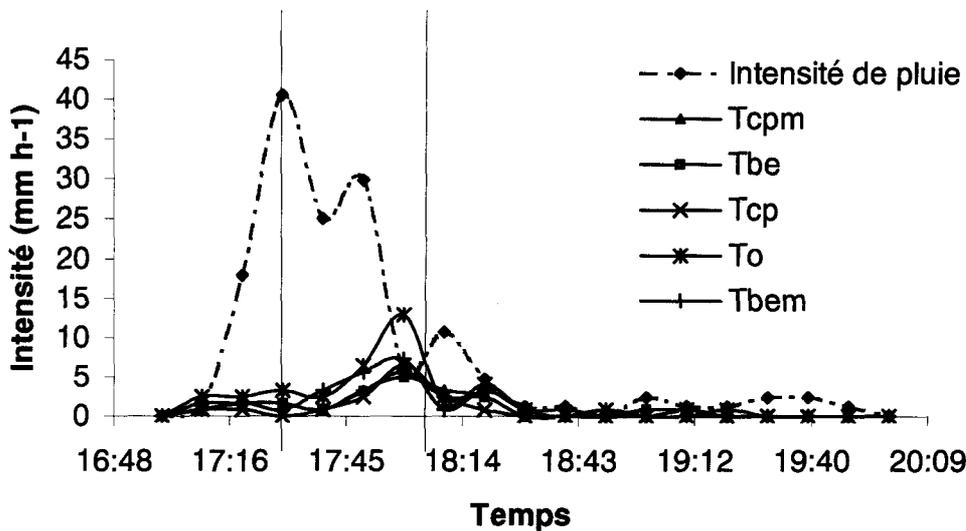


Figure 2b: Intensité du ruissellement par traitement pour la pluie du 24/08/2000 (31mm) à Saria

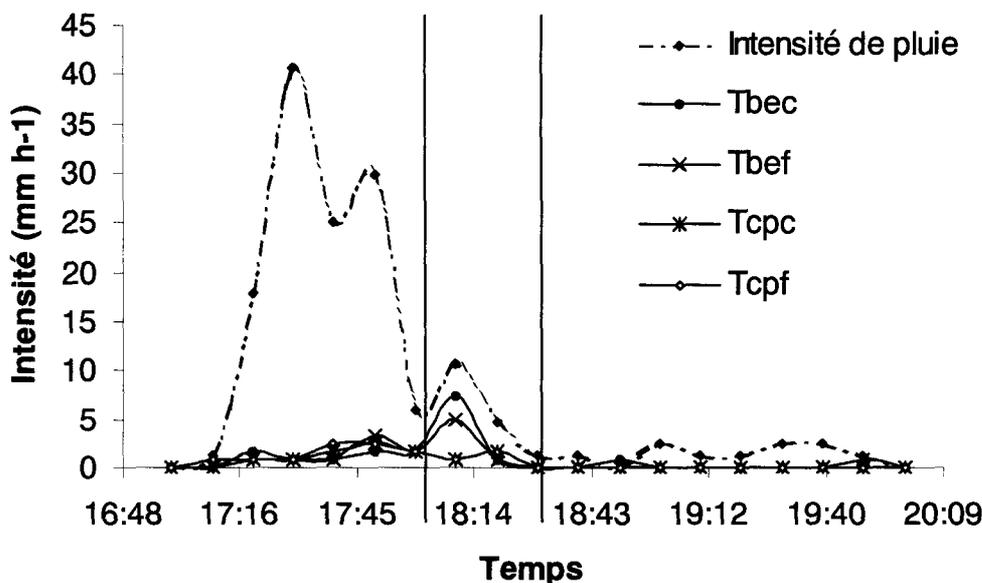


Figure 2c: Intensité du ruissellement par traitement pour la pluie du 02/07/2001 (28mm) à Saria

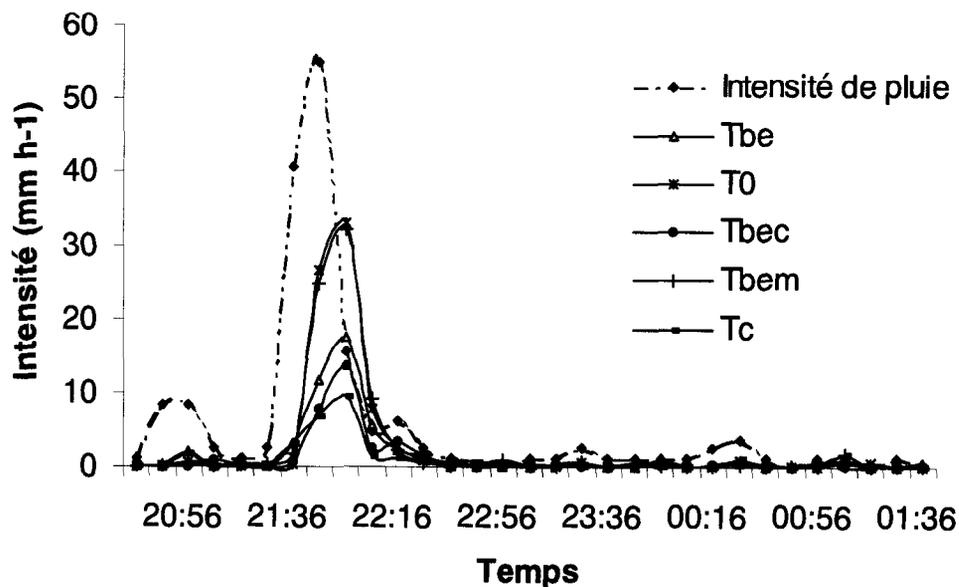
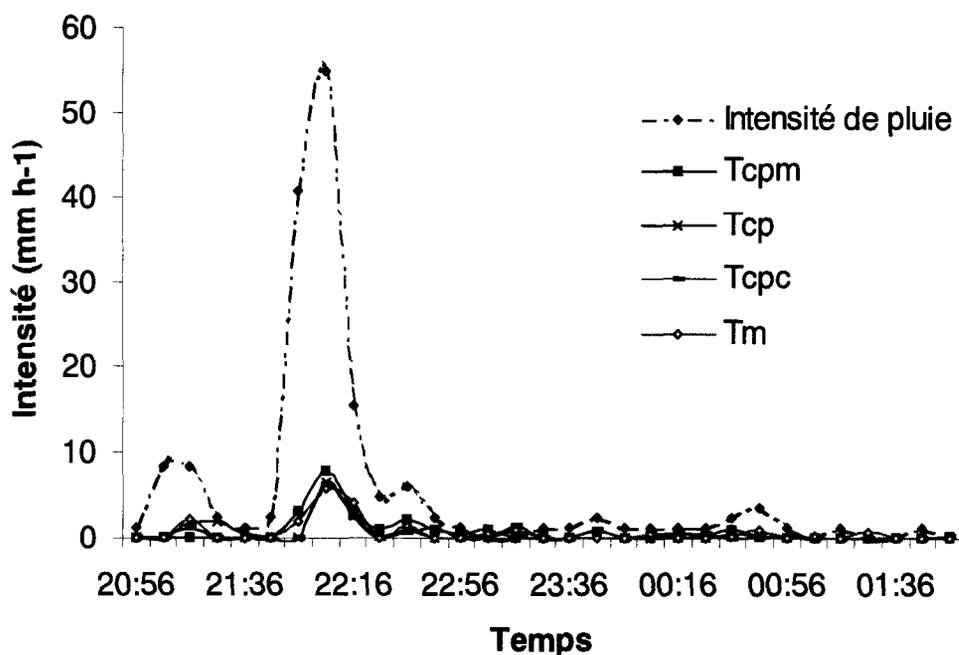


Figure 2d: Intensité du ruissellement par traitement pour la pluie du 02/07/2001 (28mm) à Saria



3.3. Les pertes en terre

Tous les traitements réduisent l'érosion comparé au témoin (Tableaux 1 et 2). Par rapport au témoin, les cordons pierreux réduisent l'érosion de 50% contre 35% pour les bandes enherbées. En effet, les plus faibles pertes en terre sont obtenues dans les trois (3) traitements avec cordons pierreux (Tcp, Tcpm, Tcpc). Les traitements avec cordons pierreux ou bandes enherbées seules

(T_{cp}, T_{be}) étaient moins érosives que les traitements avec application de compost ou d'engrais minéral azoté (T_c, T_m), confirmant l'effet positif des barrières semi-perméables sur la réduction des pertes en terre. En année 2001, l'application de compost sans aucun aménagement CES a entraîné une réduction des pertes en terre de 34% alors l'effet combiné cordon pierreux + compost a induit une réduction des pertes en terre de 52%. Les résultats des deux (2) années ont montré que les plus faibles pertes en terre observées sur les traitements qui combinent mesures de CES et application de ressources organiques (T_{cpf}, T_{bef}, T_{pc}). Comparés par paires, les traitements avec application de ressources organiques (T_{pc}, T_c, T_{cpf}, T_{bef}, T_{bc}) ont produit moins d'érosion que les traitements avec application d'engrais minéral azoté (T_{cpm}, T_{bem}, T_m) (Tableau 1,2). Cela est particulièrement observé durant la campagne 2000. En 2001, la réduction de l'érosion était plus notable qu'en 2000.

3.4. Humidité du sol

Le taux d'humidité du sol dans l'horizon 0-80cm (zone d'exploration racinaire du sorgho) était moins élevé sur le témoin que sur les tous autres traitements (Tableau 3). Les traitements avec aménagement de cordons pierreux avaient une humidité de sol plus élevée que les traitements avec bandes enherbées. Les traitements avec application de compost (T_c) ou urée (T_m) étaient plus humides que le témoin mais moins humides que les traitements avec mesures CES (cordons pierreux, bandes enherbées). Cela montre que les cordons pierreux et les bandes enherbées jouent un rôle important dans la collecte d'eau et améliorent ainsi son infiltration dans le sol. Cependant, l'humidité du sol dans les traitements avec application d'engrais minéraux (T_{cpm}, T_{bem}, T_{be}, T_{cp}) était plus importante que dans les traitements avec application de ressources organiques (T_{bef}, T_{bec}, T_{cpf}, T_{pc}). En milieu de saison pluvieuse (06/08/2000), on a observé que l'humidité du sol décroît de la base des cordons ou des bandes enherbées vers plus loin (17m).

Tableau 3: Humidité volumique du sol (%) en amont des barrières semi-perméables en début et fin de saison pluvieuse 2000 et 2001 à Saria, Burkina Faso

	6 août 2000 (0-50 cm)			27 août 2001 (0-80 cm)				22 Octobre 2001 (0-80 cm)			
	1 m	2 m	17 m	0 m	1 m	2 m	17 m	0 m	1 m	2 m	17 m
T ₀	14.0 bc	13.9 c	13.7 bc	12.9 d	10.3 b	10.3 cd	11.0 d	08.9 bc	05.4 cd	04.0 b	07.5 d
T _{CP}	19.3 ab	16.9 bc	14.0 bc	16.6 b	10.9 b	10.8 a	11.1 d	10.5 bc	10.3 a	09.4 ab	09.7 c
T _{BE}	16.8 b	14.7 c	11.9 c	15.9 c	13.0 a	11.4 abc	08.7 f	10.3 ab	10.4 bc	10.8 a	07.2 e
T _{CPM}	18.3 ab	15.7 bc	17.6 a	15.2 a	13.0 a	12.1 ab	12.1 a	11.3 a	11.5 b	10.8 a	10.3 a
T _{BEM}	20.5 a	16.0 bc	16.3 ab	13.5 d	10.4 b	11.0 abc	07.8 g	07.1 d	07.3 d	10.9 a	05.7 f
T _{CPC}	14.8 bc	12.5 d	12.9 bc	16.3 c	10.3 b	09.2 d	07.4 c	07.2 d	07 d	06.4 c	05.6 c
T _{BEC}	14.3 bc	23.5 a	15.1 b	09.2 e	12.8 a	12.7 a	11.5 cd	05.0 e	08.3 cd	10.7 a	09.9 c
T _{CPF}	14.7 bc	14.1 c	15.0 bc	-	-	-	-	-	-	-	-
T _{BEF}	14.1 bc	17.3 b	13.4 bc	-	-	-	-	-	-	-	-
T _M	-	-	-	13.3 d	10.7 b	09.1 a	09.5 e	08.5 c	08.0 d	07.8 b	07.1 e
T _C	-	-	-	13.6 d	10.8 b	10.6 bcd	12.0 b	08.9 ab	08.9 cd	06.4 b	08.0 b

T₀: témoin, sans mesure CES ni apport de nutriment azoté ; T_{cp}: cordons pierreux seuls ; T_{pc}: cordons pierreux + compost ; T_{cpf}: cordons pierreux + fumier ; T_{cpm}: cordons pierreux + urée ; T_{be}: bandes enherbées seules ; T_{bec}: bande enherbée + compost ; T_{bef}: bande enherbée + fumier ; T_{bem}: bande enherbée + urée ; T_c : apport de compost seul ; T_m : apport d'urée seule.

3.5. Production du sorgho

L'effet des traitements sur la production en grains et en tiges du sorgho était significatif (Tableau 4). La production de sorgho dans les traitements avec application de compost (Tcpc, Tbec) était 1,3 fois plus élevée que dans les traitements avec application de fumier (Tcpf, Tbef), 1,6 fois plus élevée que dans les traitements avec application d'urée (Tcpm, Tbem) et trois (3) fois plus que dans le traitement témoin et les traitements sans application de nutriments (Tc, Tbe). Les rendements de sorgho dans les traitements avec application d'urée étaient le double de ceux obtenus avec les traitements sans apport de nutriments (Tc, Tbe). A un (1) mètre en amont des cordons pierreux, le rendement en grain du sorgho était 45 à 60% plus élevé que celui obtenu à 17m plus loin. Cependant, avec les bandes enherbées, le rendement à un (1) mètre était 35 à 60% moins élevé qu'à 17m. Les rendements en grain et en tige de sorgho en 2001 étaient plus élevés qu'en 2000 (Tableau 4). Cependant, les différences entre traitements étaient moins notables en 2001. On a observé de légères différences entre les traitements avec mesures CES (Tcpc, Tbec, Tcpm, Tbem) et les traitements sans mesures CES (Tc, Tm). Cependant, l'application de compost seul (Tc) ou d'urée seule (Tm) a fortement augmenté le rendement respectivement de 107% et 92% comparé au témoin. L'aménagement de cordons pierreux a entraîné une augmentation de rendement de 12% alors qu'en combinant cordons pierreux et application de compost, l'augmentation de rendement due au compost atteint 106%. De même, en combinant bandes enherbées et compost, l'augmentation de rendement atteint 160%.

Tableau 4 : Effet des traitements sur le rendement du sorgho en 2000 et 2001 à Saria, Burkina Faso (kg ha⁻¹)

	2000				2001			
	Rendt grains	Rendt tiges	Rendt grains Amont barrières		Rendt grains	Rendt tiges	Rendt grains Amont barrières	
			1m	17m			1m	17m
T _{BEC}	2.32 a	4.99 a	1.47 abc	2.31	2.34 ab	4.74 a	1.99	2.03
T _{CPC}	2.31 a	4.84 ab	2.42 ab	1.94	2.54 a	5.14 a	2.31	2.40
T _{CPM}	1.44 bc	3.89 ab	2.29 ab	1.08	1.80 ab	4.02 ab	2.50	1.85
T _{BEM}	0.93 cd	2.82 ab	0.54 bc	1.09	1.54 ab	3.52 ab	1.02	2.09
T ₀	0.84 cd	2.62 ab	0.87 abc	0.95	1.10 ab	2.86 ab	1.10	0.80
T _{CP}	0.74 d	2.44 b	1.09 abc	0.43	1.23 ab	3.01 ab	1.18	0.69
T _{BE}	0.66 d	2.32 b	0.37 c	0.62	0.90 b	2.06 b	0.50	0.73
T _{CPF}	1.69 b	3.53 ab	1.75 abc	0.85	-	-	-	-
T _{BEF}	1.56 b	3.59 ab	2.53 a	1.47	-	-	-	-
T _C	-	-	-	-	2.28 ab	4.57 a	3.32	1.97
T _M	-	-	-	-	2.11 ab	3.82 ab	2.04	1.34

Rendt : rendement; T₀: témoin, sans mesure CES ni apport de nutriment azoté ; T_{cp}: cordons pierreux seuls ; T_{cpc}: cordons pierreux + compost ; T_{cpf}: cordons pierreux + fumier ; T_{cpm}: cordons pierreux + urée ; T_{be}: bandes enherbées seules ; T_{bec}: bande enherbée + compost ; T_{bef}: bande enherbée + fumier ; T_{bem}: bande enherbée + urée ; T_c : apport de compost seul ; T_m : apport d'urée seule.

4. DISCUSSION

4.1. Ruissellement et pertes en terre

La meilleure performance des cordons pierreux dans la réduction du ruissellement en comparaison aux bandes enherbées est imputable à la différence d'architecture entre les deux types de barrières. La seconde ligne de pierres qui supporte la première ligne de grosses pierres, ferme les petites ouvertures de l'ensemble du cordon pierreux. Malgré le fait que les bandes enherbées comprennent trois (3) lignes assez denses de pieds d'*Andropogon*, la bande demeure plus perméable que les cordons pierreux. En outre, durant les premières années d'établissement, la bande enherbée n'est pas suffisamment dense. De plus, la bande enherbée doit supporter la longue et dure saison sèche et la reprise et le développement de la biomasse deviennent effectifs un mois après le démarrage de la saison des pluies. Toutefois, les deux (2) mesures de CES permettent une augmentation de l'infiltration d'eau dans le sol. Des résultats similaires ont été trouvés par Lamachère et Serpentié (1991) et Zougmoré et al. (2000a).

Les ressources organiques améliorent la structure et la porosité du sol (Piéri, 1989) et augmentent ainsi l'infiltration. De plus, les ressources organiques augmentent la capacité de rétention en eau (Mando, 1997) et cela explique pourquoi le ruissellement a débuté plus tard dans les traitements avec application de ressources organiques que dans les traitements avec application de ressources minérales et le témoin (Figure 2). Ouédraogo et al., (2001) ont observé dans la même région que l'application de compost résultait en une meilleure structure du sol avec plusieurs pores et des agrégats bien développés. Ce meilleur état structural a amélioré l'infiltration d'eau de pluie beaucoup plus que dans les traitements avec application d'urée ou les traitements sans apport de nutriments. On peut aussi supposer que la meilleure couverture du sol assurée par la biomasse de sorgho dans les traitements avec application de ressources organiques (Tableau 4) a joué un rôle dans la réduction du ruissellement, particulièrement à la fin de la phase végétative du sorgho. En effet, la couverture assurée par le bon développement des plants de sorgho réduisent l'intensité des gouttes de pluies (Roose, 1981). En 2001, les traitements avec cordons pierreux montrèrent les plus faibles intensités de ruissellement (Figures 2c, 2d), certainement en raison de la meilleure capacité des cordons pierreux à disperser le ruissellement et améliorer l'infiltration d'eau.

L'érosion des sols est un processus à trois phases : le détachement, le transport et la sédimentation. Le transport de sédiments est intimement lié à la quantité d'eau ruisselée (Roose, 1981 ; Casenave et Valentin, 1989). Due certainement à la plus grande quantité d'eau ruisselée dans les traitements avec bandes enherbées, le transport des sédiments y est plus important que dans les traitements avec cordons pierreux. Comme déjà souligné, la matière organique du sol réduit considérablement le ruissellement et partant sa capacité de transport. En outre, les amendements organiques augmentent la stabilité du sol et donc réduisent l'érosion du sol (Tableaux 1,2). Comme pour le ruissellement, la couverture du sol réduit les pertes en terre en réduisant la vitesse du ruissellement et donc, le déplacement des particules, particulièrement les plus fines (Zougmoré et al., 2000b). Ces résultats sont similaires à ceux de Lal (1975) et de Roose (1981) qui ont trouvé que la protection permanente du sol avec une couverture vivante ou morte est l'une des voix effectives pour contrôler l'érosion des sols.

4.2. Humidité du sol

Due au retardement du démarrage du ruissellement et à la réduction de la vitesse de la lame d'eau par la présence des cordons pierreux ou des bandes enherbées (Figure 2), l'accumulation d'eau et l'infiltration sur ces traitements sont plus importantes que sur le traitement témoin. La plus forte biomasse aérienne dans les traitements avec application de ressources organiques a engendré une consommation d'eau par les plantes plus importante que dans les traitements avec apport d'engrais minéral. De plus, les ressources organiques améliorent le drainage du sol (Roose, 1981 ;

Mando, 1997) et cela pourrait expliquer le plus faible taux d'humidité du sol dans les traitements 'organiques' que dans les traitements 'inorganiques'. Le stockage d'eau était plus important juste en amont immédiat des barrières CES que dans le reste des parcelles. Ces résultats sont concordants avec ceux de Perez et al. (1998) pour les haies vives au Sénégal, et de Zougmore et al. (2000a) pour les cordons pierreux au Burkina Faso. Cependant, dans les traitements avec bandes enherbées + amendements organiques (Tbef, Tbec), l'humidité du sol était plus faible à proximité des bandes que plus loin, contrairement à ce qui est observé avec les cordons pierreux. Le bon développement des bandes enherbées dans les traitements avec application de ressources organiques a pu augmenter la demande évaporative conduisant à une diminution du taux d'humidité à proximité des bandes.

4.4. Production de sorgho

La production du sorgho dans les traitements Tcp et Tbe (aucun apport de nutriments azotés) n'était pas significativement différente de celle du traitement témoin. Cela montre que lorsque la pluviosité annuelle est normale et bien distribuée dans le temps, les mesures de conservation des eaux et des sols sans addition de nutriments n'entraînent pas une augmentation notable des rendements (Zougmore et al., 2000a). Les résultats du tableau 4 sont similaires à ceux de Ouédraogo et al. (2001) qui ont observé dans la même région et pour le même type de sol que la plus forte production de biomasse sèche de sorgho était obtenue avec l'application de compost. Utilisés comme amendements organiques le compost et le fumier libèrent en plus des éléments nutritifs majeurs comme l'azote et le phosphore, des oligo-éléments (Velthof et al., 1998). Les mêmes auteurs ont fait ressortir que les amendements organiques augmentent la disponibilité des nutriments et l'humidité du sol. La production de sorgho était plus faible à proximité des bandes enherbées probablement à cause de l'effet ombrage et de la compétition pour l'eau et les éléments nutritifs induits par les bandes.

CONCLUSIONS

Les barrières semi-perméables de conservation des eaux et des sols combinées avec application de compost et de fumier induisent une réduction significative du ruissellement et de l'érosion. Les cordons pierreux et les bandes enherbées augmentent l'humidité du sol particulièrement en amont immédiat des barrières et donc, pourraient jouer un rôle majeur dans la collecte des eaux de ruissellement. Cependant, les résultats montrent que les mesures de conservation des eaux et des sols sans apport additionnel de nutriments n'entraînent pas une augmentation significative de rendements particulièrement durant les années de bonne pluviosité. L'application d'amendements organiques en combinaison avec des mesures de CES a entraîné une augmentation substantielle de rendement du sorgho. Ainsi, la conservation des sols et l'application d'amendements doivent être réalisées en synergie en vue d'augmenter la productivité du sol. Cependant, il est indispensable de réaliser une gestion rationnelle des bandes en vue d'éliminer leur effet ombrage et l'effet des diverses compétitions sur la croissance du sorgho à proximité des bandes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le programme spécial CES/AGF FIDA du Burkina Faso, le département Erosion et conservation des eaux et des sols de l'Université de Wageningen, et la Fondation Internationale pour la Science (FIS). Les remerciements s'adressent aussi aux techniciens de Saria pour leur permanente disponibilité.

BIBLIOGRAPHIE

- Bationo A., Mokwunye A.U., 1991.** Role of manure and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: with special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertiliz. Res.* 29, 117-125.
- Berger M., 1996.** L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. Fiches techniques. Agriculture et développement n° hors série, CIRAD.
- Casenave A., Valentin C., 1989.** Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Collection Didactiques, ORSTOM, Paris.
- FAO, 1995.** World agriculture: towards 2010. An FAO study. Alexandratos (Ed.), FAO, Rome.
- FAO-UNESCO, 1994.** Soil map of the World. ISRIC, Wageningen.
- Fontes J., Guinko S. 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Ministère de la coopération française, Toulouse.
- Janssen B.H., Guiking F.C.T., Van der Eijk D., Smaling E.M.A., Wolf J., Van Reuler H., 1990.** A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma* 46, 299-318.
- Lal R., 1975.** Role of mulching techniques in tropical soil and water management. Technical Bulletin, IITA Ibadan.
- Lal R., 1998.** Agronomic impact of soil degradation. In: R., Lal, W.H., Blum, C., Valentine, B.A., Stewart (Eds.) *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science*, Boca Raton, London, pp: 459-473.
- Lamachère J.M., Serpantié G., 1991.** Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Bidi, Burkina Faso .pp: 165-178. In : A., Kergreis, J., Claude. *Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride.* John Libbey Eurotext, Paris.
- Mando A., 1997.** The effect of mulch on the water balance of Sahelian crusted-soils. *Soil Technology* ; 11 : 121-138.
- Mando A., Zougmore R., Zombré N.P., Hien V., 2001.** Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In: C., Floret, R., Pontanier (Eds.), *La jachère en Afrique Tropicale; de la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances.* John Libbey Eurotext, Paris, pp: 311-339.
- Morin J., 1993.** Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. In: *Soil tillage in Africa: needs and challenges.* FAO Soils Bull. 69, pp: 95-128.
- Ouédraogo E., Mando A., Zombré N.P., 2001.** Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 84: 259-266.
- Pérez P., Albergel J., Diatta M., Grouzis M., Sene M., 1998.** Rehabilitation of a semiarid ecosystem in Senegal. 2. Farm-plot experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 70, pp: 19-29.
- Piéri C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère coop.-CIRAD, Paris.
- Roose E., 1981.** Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. *Collection Travaux et Documents 130*, Thèse d'Etat Orléans, ORSTOM, Paris.
- Sédogo P.M., 1983.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de docteur-Ingénieur, sciences agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- Sivakumar M.V.K., Wallace J.S., 1991.** Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone : need, relevance and objectives of the workshop. In: M.V.K., Sivakumar, J.S., Wallace, C., Renard, C., Giroux, (Eds.), *Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Proc. Int. Workshop*, Niamey, Feb. 1991. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, pp: 3-10.

- Somé L., 1989.** Diagnostique agropédologique du risque climatique de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse doctorat USTL, Montpellier.
- Stroosnijder L., 1996.** Modelling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecological Modelling* 92: 79-88.
- Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P., 1980.** Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water resources Research* 16: 574-582.
- Velthof G.L., Beuichem van M.L., Raijmakers W.M.F., Janssen B.H., 1998.** Relation between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and soil* 200: 215-226.
- Walle R.J., Sims B.G., 1999.** Fertility gradients in naturally formed terraces on Honduran hillside farms. *Agron. Journal* 91: 350-353.
- Zougmore R., Kambou N.F., Ouattara K., Guillobez S., 2000.** Sorghum-cowpea intercropping: an effective technique against runoff and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). *Arid Soil research & rehabilitation* 14: 329-342.
- Zougmore R., Gnankambary Z., Guillobez S., Stroosnijder L., 2001.** Effect of stone-rows on soil chemical characteristics under continuous sorghum cropping in semiarid Burkina Faso. *Soil and tillage Research* 66, 47-53.



Pour citer cet article / How to cite this article

Zougmoré, R.; Mando, A.; Ringersma, J.; Stroosnijder, L. - Effet synergique des techniques de gestion de l'eau et des nutriments sur le ruissellement et l'érosion en zone semi-aride du Burkina Faso, pp. 540-553, Bulletin du RESEAU EROSION n° 23, 2004.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr