

# Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zai et demi-lunes) au Burkina Faso

Robert Zougmore<sup>1</sup>  
 Korodjouma Ouattara<sup>1</sup>  
 Abdoulaye Mando<sup>2</sup>  
 Badiori Ouattara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de l'environnement  
 et de recherches agricoles,  
 04 BP 8645,  
 Ouagadougou 04,  
 Burkina Faso  
 <rb\_zougmore@hotmail.com>  
 <korodjouma\_Ouattara@hotmail.com>  
 <badiori.ouattara@coraf.org>

<sup>2</sup> International Centre for Soil Fertility  
 and Agricultural Development (IFDC)  
 Africa Division,  
 Lomé,  
 Togo  
 <amando@ifdc.org>

## Résumé

Diverses recherches menées au Burkina Faso ont porté sur la gestion de la fertilité des sols, le contrôle du ruissellement et la conservation des sols. L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact des techniques de conservation des eaux et des sols utilisées ou non avec des ressources minérales et organiques de fertilisants. Les dispositifs disponibles à la station de recherche de Saria (12°16' N, 2°9' W, 300 m d'altitude) et en milieu paysan à Pougyango (12°59' N et 2°9' W) ont été mis à contribution. À Saria, les techniques de contrôle du ruissellement et de l'érosion que sont les cordons pierreux et les bandes enherbées ont été couplées à la fertilisation minérale ou organique. À Pougyango, les techniques de collecte des eaux de surface, demi-lunes et zai, ont été appliquées parallèlement à la fertilisation organique et minérale et au paillage. Les résultats ont montré que la réduction du ruissellement est de 53 % pour les cordons pierreux contre 45 % pour les bandes enherbées. La source organique de fertilisation est apparue plus efficace dans le contrôle du ruissellement et de l'érosion que l'engrais azoté minéral. L'utilisation conjointe du compost et des cordons pierreux a entraîné un accroissement du rendement du grain de sorgho de 106 %, celle du compost et de la bande enherbée une hausse de rendement de 160 %. De même les demi-lunes avec apport de compost ou de fumier ont donné de meilleurs rendements par rapport à la fertilisation minérale (N seul) et au témoin sans engrais. Il est apparu que la conservation de l'eau sans addition de nutriments n'induit pas une production supplémentaire significative des cultures, particulièrement en année de bonne pluviométrie. La combinaison des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) et de la fertilisation organique améliore les caractéristiques chimiques du sol et sa productivité.

*Mots clés : Agriculture ; Érosion ; Burkina Faso.*

## Summary

***Interaction between nutrients and water and soil conservation techniques in runoff control and soil fertility management in Burkina Faso***

Many studies carried out in Burkina Faso have been focused on soil fertility management, runoff and soil erosion control. Conducted on both a research station and a farm (Saria agricultural research station and Pougyango village, respectively),



the present study aimed at assessing the interaction between soil and water conservation measures and the use of organic and mineral nutrient sources. At Saria, such runoff and erosion control techniques as stone bunds and *Andropogon gayanus* grass strips were coupled to organic or nitrogen mineral fertilisers. At Pougyango, half-moons and *zai* pits techniques were used together with organic or N-mineral fertilisers and mulching. The results showed that stone bunds reduced runoff by 53% against 45% for grass strips. The organic fertiliser source (compost, manure) appeared more efficient in runoff and erosion control than the N-mineral fertiliser counterpart. Combining compost with stone bunds or grass strips induced an increase of 180% of sorghum grain yield while the same soil conservation measures used jointly with the N fertiliser induced an increase of about 70%. Similarly, the half-moon with compost or animal manure application generated a greater sorghum yield than when used with the mineral fertiliser and in the control plot. The two studies showed that water conservation without the addition of nutrients does not bring about a significant increase in crop yield, particularly in years when rainfall distribution is good. Combining soil and water conservation techniques with organic nutrient sources improved the chemical characteristics and productivity of the soil.

*Key words:* Agriculture; Erosion; Burkina Faso.

La dégradation des sols est un problème majeur pour les pays du Sahel [1]. Dans cette zone, les effets combinés du faible niveau de fertilité des sols, de la mauvaise gestion d'un écosystème déjà fragile et des conditions climatiques très sévères ont conduit à un faible niveau de production primaire [2]. En Afrique subsaharienne, l'agriculture est dominée par des systèmes de culture à base de céréales, qui représentent 97 % des productions pluviales [3]. Dans cette zone, la proportion d'eau de pluie qui atteint la zone racinaire, plus que la faible pluviosité annuelle, est la principale contrainte à la production des cultures [4]. En outre, les sols sont très pauvres en éléments nutritifs, particulièrement en azote et en phosphore [5], ce qui signifie que l'insuffisance d'eau et de nutriments sont les principaux facteurs limitants de la croissance des cultures [6]. De ce fait, maximiser l'utilisation des eaux pluviales n'est que faiblement bénéfique si la déficience du sol en nutriment n'est pas simultanément corrigée [7]. De même, les apports de nutriments dans des conditions hydriques de sol non optimales ne sont pas bénéfiques.

Plusieurs études ont été menées au Burkina Faso sur divers aspects de la gestion des sols comme le contrôle du ruissellement, la disponibilité en eau, la productivité et la conservation des sols. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'interaction des pratiques de conservation de l'eau (cordons pierreux, bande enherbée d'*Andropogon gayanus*, cuvettes de *zai* et de demi-lunes) combinées ou non à une source organominérale azotée sur la production du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), le

contrôle du ruissellement et la réhabilitation des sols.

## Matériel et méthode

### Mesures antiérosives et gestion des nutriments

#### • Description du site et dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est situé dans la station de recherche agricole de Saria (12°16' N, 2°9' W, 300 m altitude) au Burkina Faso. Le climat est de type nord-soudanien [8]. La pluviosité annuelle moyenne est de 800 mm et dure six mois, de mai à octobre. La répartition des pluies est irrégulière dans le temps et dans l'espace. La température maximale varie entre 25 °C et 30 °C durant la saison des pluies et peut atteindre 45 °C en avril et mai en saison sèche. L'évapotranspiration potentielle est de 2 096 mm en années sèches et de 1 713 mm en années humides [9]. Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé (Lixisol ferrique, [10]) avec une pente moyenne de 1,5 % et un horizon induré à 50-70 cm de profondeur.

La végétation naturelle est une savane arborée [8] avec comme principales espèces *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa* et *Tamarindus indica*. La strate herbacée est dominée par *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon* sp. et *Loudetia togoensis*. L'essai a débuté en 2000 et a combiné deux mesures de conservation des eaux et des sols (CES) avec trois types de sources d'apport d'azote.

Le dispositif expérimental est un bloc Fisher randomisé avec deux répétitions et neuf traitements, comme suit :

TO : témoin, pas de mesure CES ni d'apport d'azote ;  
 CP : cordon pierreux sans apport d'azote ;  
 CPC : cordon pierreux + compost ;  
 CPF : cordon pierreux + fumier ;  
 CPU : cordon pierreux + urée ;  
 BE : bande enherbée sans apport d'azote ;  
 BEC : bande enherbée + compost ;  
 BEF : bande enherbée + fumier ;  
 BEU : bande enherbée + urée.

Chaque parcelle (100 m de long, 50 m de large) est délimitée en amont et sur les flancs par une diguette en terre de 0,6 m de hauteur. Au milieu de chaque parcelle, on a délimité une placette de 100 m de long et de 1 m de large pour collecter le ruissellement et les sédiments. Ces derniers sont recueillis dans une fosse cimentée de 6 m<sup>3</sup>. Chaque fosse est équipée d'un appareil mesurant la hauteur d'eau dans la fosse en fonction du temps et celo, à partir de la pression de l'eau et de sa température (*Water level recorder TD-diver, Eijkelkamp, Giesbeek, The Netherlands*). L'intensité de la pluie est mesurée à l'aide d'un pluviomètre automatique. Dans chaque parcelle, 36 sous-parcelles sont délimitées et placées par paire à 99, 96, 83, 78, 70, 67, 65, 62, 50, 45, 37, 34, 32, 29, 17, 12, 4 et 1 m de la base de chaque parcelle. Les cordons pierreux et les bandes enherbées ont été installés sur les courbes de niveau aux écartements de 33 m, soit trois barrières par parcelle [11]. Les cordons pierreux sont constitués de deux rangées contiguës de pierres placées dans un sillon. La rangée en amont, constituée de grosses pierres, est stabilisée à

l'aval, par une rangée de petites pierres. Chaque bande enherbée comprend trois lignes intercalées de plants d'*Andropogon gyanus* permettant d'obtenir une barrière dense de 0,3 m de large. La variété de sorgho (Sariasso 14) de 110 jours a été semée dans toutes les parcelles à la densité de 31 250 poquets par hectare. Le fumier et le compost ont été appliqués à la dose de 50 kg. ha<sup>-1</sup> de N. L'azote minéral a été appliqué à la même dose sous forme d'engrais d'urée dosé à 46 % N. Ces doses ont été calculées à partir des données de Berger [12] qui ont montré que le fumier contient en moyenne 1 % d'azote et le compost 0,7 % d'azote. Le modèle QUEFTS [13] a été utilisé pour calculer les besoins en nutriment azoté de la culture à partir des teneurs du sol en carbone et du pH (H<sub>2</sub>O). Toutes les parcelles ont reçu une fumure de base de 20 kg. ha<sup>-1</sup> de phosphore sous forme de Triple Super Phosphate (TSP) en vue d'éliminer la déficience en phosphore sur tous les traitements.

• Collecte et analyse des données

Les volumes d'eau ruisselée ont été mesurés pour chaque pluie ayant causé du ruissellement, en évaluant le volume d'eau recueilli par fosse. Les pertes de sédiments par érosion ont été calculées par pesée de la terre de fond à laquelle on additionne la terre de suspension dans l'eau de ruissellement. A cet effet, après homogénéisation, un prélèvement de l'eau de ruissellement est réalisé, par fosse, dans un fût de 60 litres. Après décantation, les sédiments sont séparés de l'eau, séchés puis pesés. Le poids total de sédiments fins est calculé en ramenant le poids de terre recueilli dans le fût à celui du volume total d'eau ruisselée. Le ruissellement et l'érosion ont été analysés à partir des seules 10 pluies érosives survenues durant la période de culture en 2000 et des seules 9 pluies érosives survenues en 2001.

Collecte d'eau et gestion des nutriments avec le zaï et les demi-lunes

• Dispositif expérimental

L'essai a été conduit dans le village de Pougyango (12°59' N et 2°9' W) situé à 125 km au nord-ouest de Ouagadougou. Le zipellé (terre dénudée) a une pente de 1 %. Le sol est de type ferrugineux tropical cuirassé avec une profondeur utile de 25-30 cm, due à la présence d'un horizon latéritique vers 30 cm de profondeur.

Le climat est du type sud-sahélien, avec une saison pluvieuse de juillet à octobre [8]. La moyenne annuelle de l'ETP dépasse 2 000 mm.an<sup>-1</sup> pour une pluviométrie annuelle moyenne de 600 mm.

Le dispositif expérimental est un bloc randomisé avec 4 répétitions et 11 traitements qui combinent les deux pratiques de conservation des eaux et des sols (zaï, demi-lune) avec des amendements organiques et/ou minéraux.

TO : témoin (sans technique CES ni amendement) ;

DL<sub>pep</sub> : demi-lune + BP + NPK + urée ;

DL<sub>cp</sub> : demi-lune + compost + BP (phosphate naturel) ;

DL<sub>pop</sub> : demi-lune + paillage + (BP) ;

Z<sub>f</sub> : zaï + fumier ;

Z<sub>fpop</sub> : zaï + fumier + paillage + BP ;

DL : demi-lune sans amendement ;

DL<sub>f</sub> : demi-lune + fumier ;

DL<sub>pa</sub> : demi-lune + paillage ;

Z<sub>fpa</sub> : zaï + fumier + paillage.

Les dimensions des parcelles sont de 8 x 5 m. Les demi-lunes (figure 1) ont 4 m de diamètre. L'espacement entre deux demi-lunes sur la même courbe de niveau est de 2 m et de 4 m entre deux lignes consécutives, soit une densité de 417 demi-lunes par hectare. Dans chaque demi-lune, la surface cultivée est de 6,3 m<sup>2</sup>. Selon la pratique traditionnelle,

une charretée de compost ou de fumier à 30 % d'humidité en moyenne est apportée par demi-lune, soit une dose de 10,2 t.ha<sup>-1</sup>. La confection du zaï consiste à creuser des cuvettes de 20-40 cm de diamètre et 10-15 cm de profondeur, destinées à recueillir l'eau de ruissellement (figure 1). La densité moyenne de zaï est de 31 750 trous (0,80 x 0,40 m) par hectare. Pour les traitements zaï, une poignée (0,3 kg) de fumier est apportée par trou, soit une dose de 6,7 t. ha<sup>-1</sup>. Sur les traitements Z<sub>fpo</sub> et Z<sub>fpop</sub>, une couche d'environ 10 cm de paille correspondant à la dose de 5 t. ha<sup>-1</sup> recouvre les espaces entre les trous de zaï. Dans le cas des traitements DL<sub>po</sub>, DL<sub>pop</sub>, la paille recouvre la surface cultivable des demi-lunes. L'engrais coton NPK (14N-23P-14K-6S-1B) est apporté à la dose de 100 kg. ha<sup>-1</sup> et l'urée (46 % N) à 50 kg. ha<sup>-1</sup>. Le phosphore est apporté à la dose de 20 kg. ha<sup>-1</sup> de P sous forme de burkina phosphate (BP), un phosphate naturel local broyé, dosé à 25,4 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La variété de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) IRAT 204 ayant un cycle de 90 jours a été semée sur toutes les parcelles.

• Collecte des données

Dans chaque parcelle les mesures suivantes ont été réalisées :

- détermination des caractéristiques chimiques du sol sur l'horizon 0-20 cm. Les analyses ont porté sur le pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), C, N, K, Na, Ca, Mg et la CEC. Six échantillons de sol ont été prélevés en novembre 1997. Un autre échantillonnage a été effectué en décembre 1998, après la récolte du sorgho dans les parcelles ;
- détermination des rendements en grain et pailles de sorgho après trois semaines de séchage au soleil.

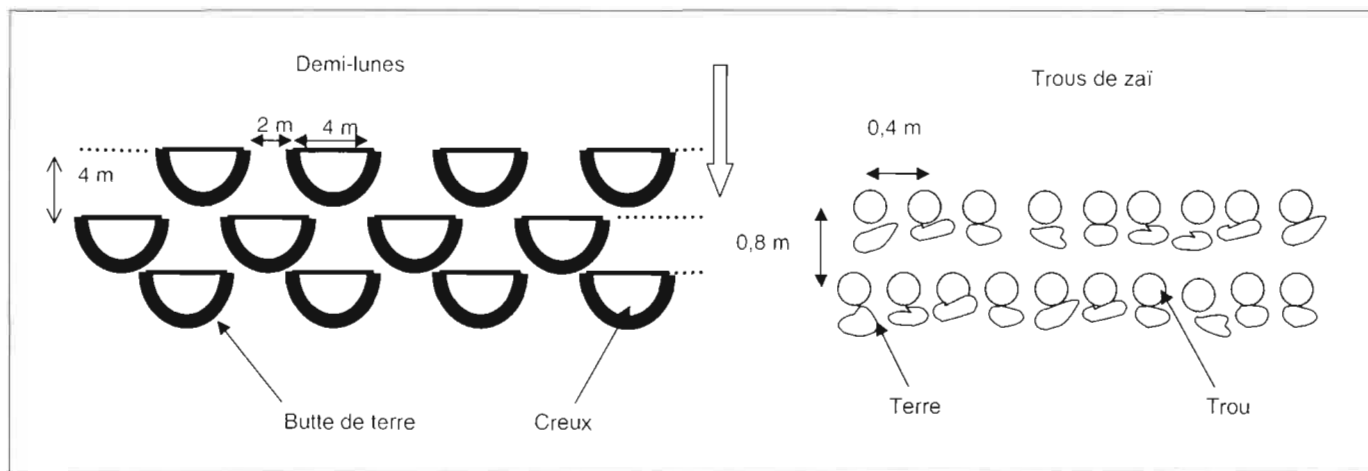


Figure 1. Diagramme de la disposition des demi-lunes et du zaï selon la pente.

## Résultats

### Impact des techniques de CES et de la fertilisation sur le ruissellement et l'érosion

Les cordons pierreux et les bandes enherbées, avec ou sans apport de fertilisants, réduisent le ruissellement par rapport à la parcelle témoin non aménagée (tableau I). Le taux moyen de réduction du ruissellement pour les cordons pierreux était de 53 % contre 45 % pour les bandes enherbées étroites. Cette différence entre les cordons pierreux et les bandes enherbées dans la réduction du ruissellement était faible dans les parcelles à compost (2 %) et dans les parcelles ayant reçu du fumier (5 %). Aussi bien sur les parcelles aménagées en cordons pierreux qu'avec bandes enherbées, le ruissellement a été plus faible avec apport de compost et, dans une moindre mesure, avec apport de fumier. Comparé au traitement témoin, l'apport de compost seul a réduit le ruissellement de 33 %, tandis que l'application d'azote minéral seul a réduit le ruissellement de 46 %.

Les cordons pierreux ont réduit l'érosion du sol, en moyenne de 50 % contre 35 % pour les bandes enherbées (tableau II). Les résultats ont montré que de faibles pertes en terre sont obtenues sur les traitements avec apport de fumier (CP<sub>F</sub>, BE<sub>F</sub>) ou de compost (CP<sub>C</sub>).

Ainsi, durant les deux années d'étude, l'apport d'amendement organique tout comme l'apport d'engrais minéral, sont apparus efficaces dans le contrôle du ruissellement et de l'érosion (tableaux I et II).

### Effet des techniques de CES et de la fertilisation sur la production de sorgho

Les rendements en grains et en pailles du sorgho étaient significativement différents entre les traitements (figure 2). La production de sorgho dans les traitements avec

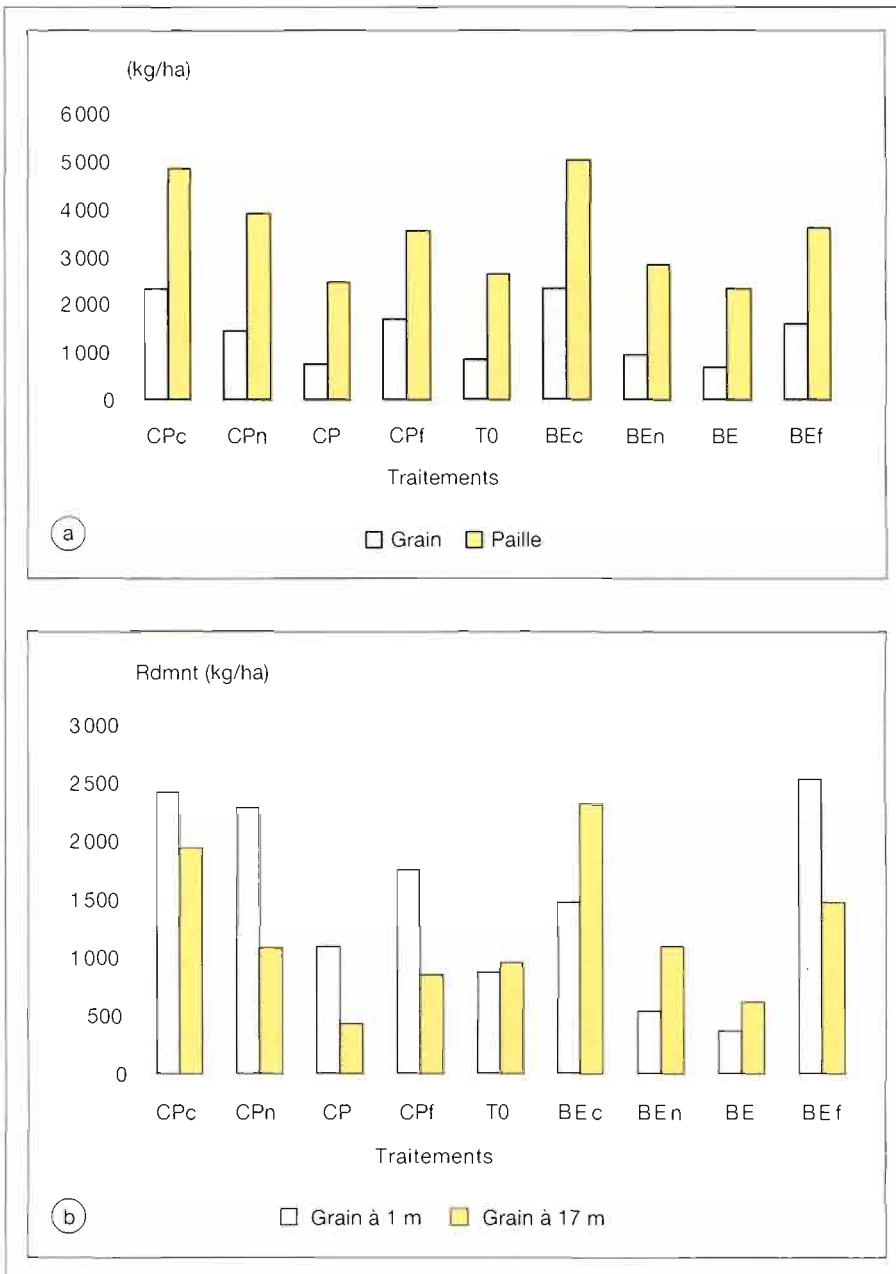


Figure 2. Effet des traitements sur la production du sorgho en 2000 ; Rendement grains et paille par traitement (a) et rendement grains en fonction de la distance par rapport à la barrière anti-érosive (b).

Tableau I. Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion pour 10 événements de pluie produisant le ruissellement (pluie totale 199,8 mm) pendant la saison pluvieuse 2000, Saria, Burkina Faso.

	T <sub>0</sub>	CP	CP <sub>N</sub>	CP <sub>F</sub>	CP <sub>C</sub>	BE	BE <sub>N</sub>	BE <sub>F</sub>	BE <sub>C</sub>
Cum-Ruiss (mm)	31,7	14,2	16,6	14,9	13,5	16,5	22,7	16,5	14,1
Réduction du ruissellement (%)	0	55	48	53	58	48	29	48	56
Cram (%)	15,9	7,1	8,3	7,5	6,8	8,3	11,4	8,2	7,1
Ruissellement du 24.08.2000 (mm)	8,4	3	2,8	1,7	2,5	2,7	5,9	2,2	2,2
Érosion du sol (kg. ha <sup>-1</sup> )	217	98	136	86	67	150	105	97	145
Réduction de l'érosion (%)	0	55	38	60	69	31	52	55	33

Cum-Ruiss : ruissellement cumulé ; Cram : coefficient de ruissellement annuel moyen ; T<sub>0</sub> : sans technique de CES ni apport de fertilisant (parcelle témoin) ; CP : cordon pierreux sans autre apport ; CP<sub>C</sub> : cordon pierreux + compost ; CP<sub>F</sub> : cordon pierreux + fumier ; CP<sub>N</sub> : cordon pierreux + urée ; BE : bande enherbée, sans apport de fertilisants ; BE<sub>C</sub> : bande enherbée + compost ; BE<sub>F</sub> : bande enherbée + fumier ; BE<sub>N</sub> : bande enherbée + urée.

Tableau II. Effet des traitements sur le ruissellement et l'érosion pour 9 pluies produisant le ruissellement (pluie totale 237,5 mm) pendant la saison pluvieuse 2001, Saria, Burkina Faso.

	T <sub>0</sub>	N	C	CP	CP <sub>N</sub>	CP <sub>c</sub>	BE	BE <sub>N</sub>	BE <sub>c</sub>
Cum-Ruiss (mm)	28,87	15,58	19,56	8,38	10,05	7,58	14,04	22,56	10,72
Réduction du ruissellement (%)	0	46	32	71	65	74	51	22	63
CRAM (%)	12,2	6,6	8,2	3,5	4,2	3,2	5,9	9,5	4,5
Ruissellement du 02.07.2001 (mm)	12,2	2,6	4,1	2,4	3,6	2,2	6,7	11,6	2,4
Érosion du sol (kg. ha <sup>-1</sup> )	236	116	113	71	52	50	99	171	108
Réduction de l'érosion (%)	—	34	35	47	52	52	39	18	36

Cum-Ruiss : ruissellement cumulé ; Cram : coefficient de ruissellement annuel moyen ; T<sub>0</sub> : sans technique de CES ni apport de fertilisant (parcelle témoin) ; CP : cordon pierreux sans autre apport ; CP<sub>c</sub> : cordon pierreux + compost ; N : sans technique CES, apport d'urée ; CP<sub>N</sub> : cordons pierreux + urée ; BE : bande enherbée, sans apport de fertilisants ; BE<sub>c</sub> : bande enherbée + compost ; C : apport de compost, pas de technique CES ; BE<sub>N</sub> : bande enherbée + urée.

apport de compost a été 1,3 fois supérieure à celle des parcelles avec apport de fumier, 1,6 fois supérieure à celle des parcelles ayant reçu l'urée et 3 fois supérieure à celle des parcelles témoins et des parcelles aménagées en CES sans apport de fertilisants (CP, BE). À 1 mètre en amont des cordons pierreux, les rendements en grains du sorgho ont été 45 à 60 % plus élevés que ceux obtenus à 17 m plus loin. En revanche, les rendements à 1 m de la bande enherbée ont été de 35 à 60 % plus faibles (probablement à cause de la lutte pour les nutriments et l'eau) que les rendements à 17 m de la bande. Les écarts de rendements entre les parcelles aménagées fertilisées (CP<sub>c</sub>, BE<sub>c</sub>, CP<sub>N</sub>, BE<sub>N</sub>) et les parcelles non aménagées fertilisées (C, N) ont été faibles. Cependant, l'application

seule du compost (C) ou de l'urée (N) a augmenté les rendements respectivement de 107 % et 92 % par rapport au témoin. La confection des cordons pierreux a permis d'augmenter les rendements de sorgho de 12 % tandis qu'en combinant compost et cordons pierreux, l'accroissement de rendement est de 106 %. De même, en combinant compost et bande enherbée, l'augmentation de rendement en grains a atteint 160 %.

#### Modification des caractéristiques chimiques du sol dans les systèmes de collecte d'eau et gestion des nutriments

Les propriétés chimiques du sol avant l'application des amendements peuvent être

considérées homogènes, l'analyse de variance n'ayant révélé aucune différence significative. En revanche, après l'application des traitements, l'analyse de variance a révélé des différences hautement significatives (tableau III). Les traitements Z<sub>fppp</sub>, DL<sub>f</sub>, Z<sub>f</sub>, T<sub>0</sub> et Z<sub>fpa</sub> ont des pH (H<sub>2</sub>O) variant entre 5,0 et 5,7, tandis que les autres traitements ont le pH dans la gamme 4,5-4,8. On peut conclure que l'environnement a été très acide sur la majorité des traitements ayant reçu le fumier et extrêmement acide sur les autres. Le pH le plus acide a été observé sur le traitement ayant reçu la dose recommandée de fertilisation minérale (DL<sub>em</sub>).

La teneur en matière organique du sol (SOM) a été plus élevée dans les traitements avec apport de fumier que dans

Tableau III. Effet des pratiques de demi-lune et du zai sur les caractéristiques chimiques du sol.

	PH (H <sub>2</sub> O)	PH (KCl)	C (g. kg <sup>-1</sup> )	SOM (%)	N (g. kg <sup>-1</sup> )	C : N	Ptot. (‰)	Ca (cmol. kg <sup>-1</sup> )	K (cmol. kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol. kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol. kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol. kg <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	5,1bc	3,9b	6,4cd	1,10cd	0,51ab	12,5ab	0,64cd	1,44ab	0,12	0,22ab	0,22	0,10b
DL	4,6cd	3,8b	5,9d	1,03d	0,52ab	11,5ab	0,59d	1,54ab	0,15	0,27ab	0,40	0,13ab
DL <sub>c</sub>	4,6cd	3,8b	5,5d	0,95d	0,54ab	10,2b	0,55d	1,51ab	0,18	0,23ab	0,29	0,13ab
DL <sub>f</sub>	5,4ab	4,4a	8,3abc	1,44abc	0,72a	11,5ab	0,83abc	2,48a	0,48	0,73ab	0,28	0,15ab
DL <sub>pa</sub>	4,7cd	3,8b	5,3d	0,91d	0,52ab	10,4b	0,53d	1,47ab	0,13	0,33ab	0,36	0,12ab
DL <sub>cp</sub>	4,6cd	3,8b	6,6cd	1,13cd	0,58ab	11,2ab	0,66cd	1,77ab	0,15	0,36ab	0,51	0,13ab
DL <sub>pap</sub>	4,8cd	3,8b	5,2d	0,89d	0,45b	11,4ab	0,52d	1,35b	0,17	0,17b	0,25	0,11ab
DL <sub>pen</sub>	4,5d	3,7b	5,4d	0,92d	0,53ab	10,4b	0,54d	1,81ab	0,2	0,42ab	0,37	0,12ab
Z <sub>f</sub>	5,3ab	4,3a	9,2ab	1,59ab	0,73a	12,6ab	0,92ab	2,23ab	1,09	0,73ab	0,40	0,14ab
Z <sub>fpa</sub>	5,0bcd	3,9b	7,5bcd	1,29bcd	0,64ab	11,8ab	0,75bcd	1,73ab	0,74	0,53ab	0,30	0,14ab
Z <sub>fppp</sub>	5,7a	4,5a	9,9a	1,70a	0,72a	13,8a	0,99a	2,54a	0,4	0,94a	0,49	0,16a
F <sub>prob</sub>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,005	0,107	0,020	0,365	0,024
SED	0,152	0,126	0,762	0,131	0,065	0,829	0,076	0,330	0,331	0,220	0,266	0,014
N° Ech	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Sig 5 %	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	NS	S	NS	S
cv (%)	4,4	4,5	15,8	15,7	15,6	10,1	15,8	25,8	57,6	9,4	36,0	14,9

Les traitements avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents à p = 0,05 ; Prob. F : probabilité de F ; signif. 5 % : signification à p < 0,05 ; NS : non significatif ; HS : hautement significatif ; SED : erreur standard des différences de moyennes ; N° ech : nombre d'échantillons ; cv (%) : coefficient de variation ; T<sub>0</sub> : témoin (ni trouaison ni amendement) ; DL : demi-lune sans amendement ; DL<sub>c</sub> : demi-lune + compost ; DL<sub>f</sub> : demi-lune + fumier ; DL<sub>pa</sub> : demi-lune + paillage ; DL<sub>cp</sub> : demi-lune + compost + BP ; DL<sub>pap</sub> : demi-lune + paillage + BP ; DL<sub>pen</sub> : demi-lune + BP + NPK + Urée ; Z<sub>f</sub> : Zai + fumier ; Z<sub>fpa</sub> : Zai + fumier + paillage ; Z<sub>fppp</sub> : Zai + fumier + paillage + BP.



ceux avec apport de compost ou de paille. Les traitements zai ont des teneurs en matière organique plus élevées (1,3 à 1,7 %) que les traitements demi-lunes. La combinaison du BP et du compost semble augmenter la SOM.

La teneur en N sur l'ensemble des parcelles est en général faible, variant entre 0,7 g.kg<sup>-1</sup> et 0,5 g.kg<sup>-1</sup> avec une tendance d'amélioration par l'apport de fumier. De même, cette tendance est observée pour le P, le Ca, le Mg et la capacité d'échange cationique (CEC).

### Production du sorgho avec les pratiques de zai et de demi-lune

Il existe des différences significatives de rendements de paille et de grains entre les traitements (figure 3). La production de sorgho dans le traitement témoin a échoué probablement du fait de la compacité du sol et l'absence de fertilisation. Les traitements demi-lune avec apport de compost ou de fumier ont eu des rendements grains supérieurs au rendement moyen dans la zone (800 kg.ha<sup>-1</sup>). Il a été observé que l'addition de burkina phosphate donne lieu à un accroissement d'environ 63 % des rendements avec le zai et peut accroître de quatre fois les rendements avec la demi-lune. La fertilisation minérale azotée recommandée a accru le rendement grain de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, ce qui représente la moitié du rendement obtenu avec le compost seul.

## Discussion

### Ruissellement et érosion dans les systèmes de bandes enherbées et de cordons pierreux

Zougmoré *et al.* [14] expliquent que la plus grande efficacité des cordons pierreux dans la réduction du ruissellement, par comparaison avec les bandes enherbées, est imputable à la différence d'architecture entre les deux types de barrières. La seconde rangée de petites pierres qui soutient la première ligne de grosses pierres, ferme les petites ouvertures de l'ensemble du cordon pierreux. Bien que les bandes enherbées comprennent trois lignes régulières de plants 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, à telle enseigne que la reprise et le développement de sa biomasse ne deviennent effectifs qu'un mois après le début de la saison

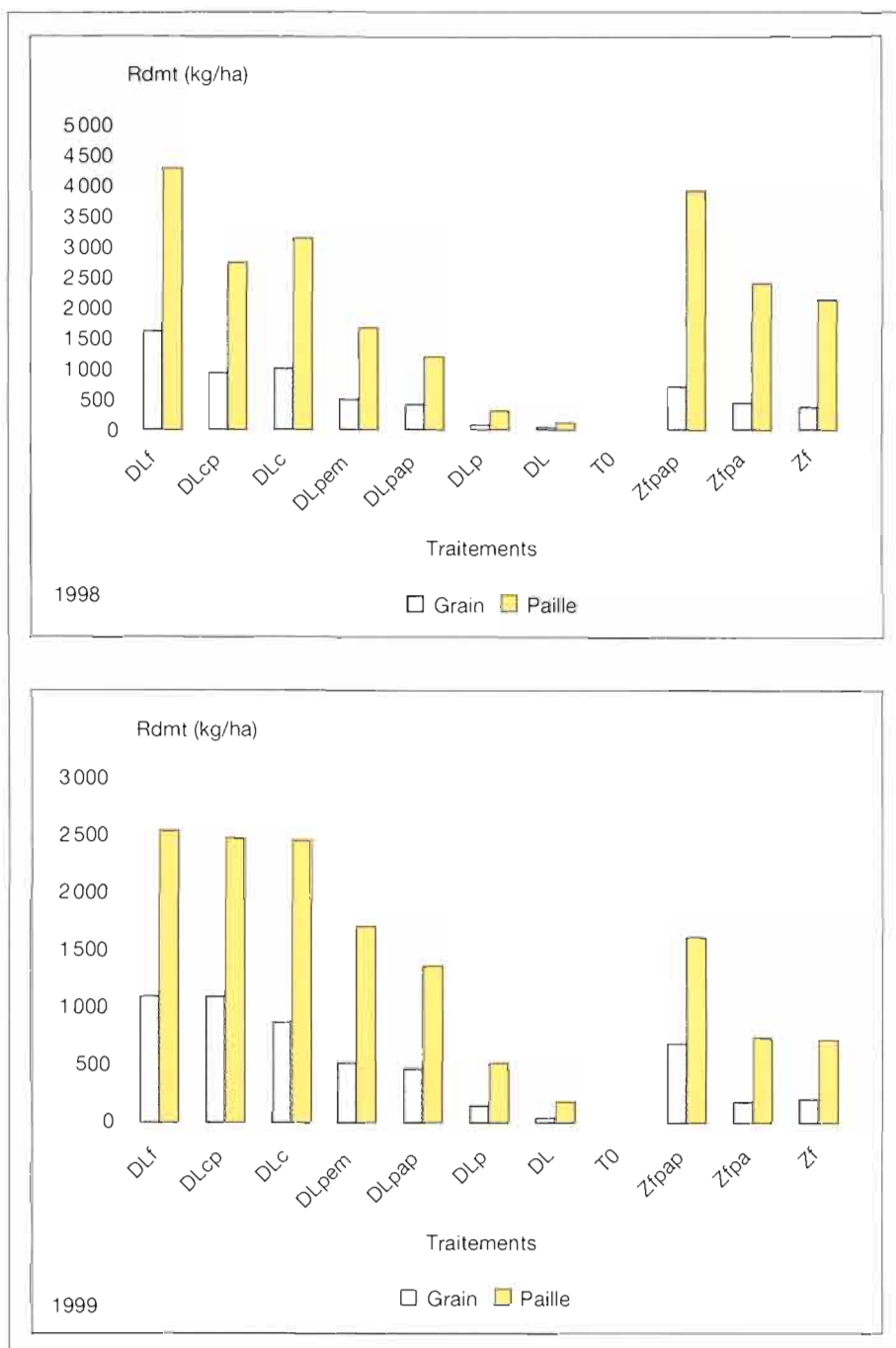


Figure 3. Effet des pratiques de la demi-lune et du zai sur la production du sorgho en 1998 et 1999.

pluvieuse. En revanche, ces deux techniques de conservation de l'eau et du sol permettent une importante réduction du ruissellement, et par conséquent augmentent l'infiltration de l'eau dans le sol. Des résultats similaires ont été observés par Lamachère et Serpentini [15] et Zougmoré *et al.* [11].

Les apports organiques améliorent la structure et la porosité du sol, ce qui favorise l'infiltration ([16, 17]). En outre, les ressources organiques augmentent la capa-

cité de rétention d'eau du sol ([18, 19]) et cela explique le retard de déclenchement que prend le ruissellement dans les parcelles avec fumure organique par rapport aux autres. Ouédraogo *et al.* [20] ont également observé dans la même région que les apports de compost induisent une meilleure structure du sol avec de nombreux pores et agrégats bien développés. Ce meilleur état structural du sol observé sur les parcelles avec fumure organique est à l'origine de l'amélioration de l'infil-

tration des eaux de pluie. On peut également supposer que la plus grande couverture du sol par la biomasse de sorgho dans les parcelles avec fumure organique a joué un rôle dans la réduction du ruissellement, particulièrement à la fin de la période végétative. En effet, le couvert végétal constitué par les plants de sorghos bien développés amortit l'énergie des gouttes de pluie [21].

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 [21]. Eu égard à la plus grande quantité d'eau ruisselée sur les parcelles avec bandes enherbées, le transport de sédiments y a été plus important que dans les traitements avec cordons pierreux. Comme mentionné plus haut, la matière organique du sol réduit le ruissellement et donc sa capacité de charge. En outre, les amendements organiques augmentent la stabilité du sol et réduisent ainsi l'érosion du sol (tableaux I et II). Comme pour le ruissellement, la couverture du sol diminue les pertes en terre en réduisant la vitesse du ruissellement et par conséquent le déplacement de particules solides, particulièrement les plus grossières [22]. Cela est en accord avec Lal [23] et Roose [21] qui ont trouvé que la protection permanente du sol avec une couverture vivante ou morte est l'une des méthodes efficaces pour contrôler le ruissellement et l'érosion des sols.

### Production du sorgho dans les systèmes de bandes végétatives et de cordons pierreux

La production du sorgho dans les traitements CP et BE (pas d'apport de nutriment azoté) n'était pas significativement différente de celle du traitement témoin. Ce résultat montre que lorsque la pluviosité annuelle est bonne avec une bonne distribution des pluies, la conservation de l'eau sans apport de nutriment n'entraîne pas une augmentation notable du rendement [14]. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de Ouédraogo *et al.* [20] qui ont observé, dans la même région et pour le même type de sol, que la plus forte production de matière sèche du sorgho était obtenue dans des parcelles avec 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, une quantité importante d'éléments mineurs utilisables par les plantes [24]. Les mêmes auteurs ont montré que les amendements organiques augmentent la disponibilité des éléments nutritifs et l'humidité du sol. La production de sorgho a été plus faible à proximité des bandes enherbées

probablement à cause de l'effet ombrage de la bande enherbée et de la lutte pour l'eau et les nutriments. Cela n'est pas le cas du cordon pierreux.

### Caractéristiques du sol dans les systèmes de zai et de demi-lune

Le sol dans les traitements avec apport de fumier ( $Z_{fpop}$ ,  $DL_f$ ,  $Z_f$ ,  $Z_{fpo}$ ) a été moins acide que dans les autres traitements. En effet, l'apport de fumier a entraîné une diminution de l'acidité du sol tandis que le paillage ( $DL_{pa}$ ,  $DL_{pop}$ ) et la fertilisation minérale ( $DL_{pem}$ ) ont augmenté l'acidification. Plusieurs auteurs ont montré que la nature et les caractéristiques des amendements jouent un rôle critique dans l'acidité du sol [16]. Ganry et Badiane [25] ont montré qu'après l'incorporation de pailles, des problèmes liés à la libération d'acides phénoliques apparaissent. Très souvent, ces acides, provenant des substrats organiques, se dissolvent dans la solution du sol et leur forte accumulation peut entraîner une acidification du substrat [26]. Plusieurs études ont également montré que le fumier est l'amendement qui, de par sa teneur en bases, permet le maintien d'un meilleur pH du sol [16] tandis que l'incorporation des résidus (pailles) a un effet limité. La plus forte teneur en SOM (supérieure à 1,3 %) a été observée dans les quatre traitements ayant reçu l'apport de fumier. La même observation s'applique aux teneurs en N, Ca et Mg, ainsi qu'à la CEC [27]. Selon Piéri [16], l'apport de fumier est la pratique la plus efficace qui, selon les doses et la texture du sol, entretient et même améliore les réserves de SOM. Dans le type de sol sableux utilisé dans notre essai, la capacité d'échange du sol est essentiellement due à la présence de SOM [28]. Selon Delas et Molot [29], plus le sol est sableux, plus pauvre est sa teneur en humus, plus faible est sa capacité d'échange. Cela s'est vérifié dans les traitements  $DL_{pa}$  et  $DL_{pop}$  ayant reçu un apport de pailles dans notre étude.

### Performance du sorgho dans les systèmes de zai et de demi-lune

Les traitements avec apport de fumier ou de compost ont obtenu les meilleures productions de pailles et de grains (rendement en grains supérieur à 1 t/ha). Le rendement de sorgho dans le traitement  $DL_f$  a été 39 fois plus élevé que le rendement obtenu dans le traitement DL sans fumier. De même, le rendement en grains du traitement DL + compost était 24 fois supérieur à celui obtenu avec le traitement DL sans aucun amendement. Cet accroissement significatif de rendement semble

lié à l'action fondamentale de la matière organique, résumée par Piéri [16] en trois rôles essentiels : i) elle stimule la formation des racines de la culture ; ii) elle est un agent majeur pour la stabilité de la structure du sol ; iii) elle a une influence directe sur la nutrition de la plante et sur les propriétés physico-chimiques du sol, due à sa minéralisation et son importance dans la dynamique de N. Malgré la dynamique de la MO et la très faible perméabilité de ce type de sols [30], l'apport d'amendements organiques bien décomposés (fumier, compost) conduit à des modifications notables du statut minéral du sol. Comme la contrainte du déficit hydrique est levée grâce au stockage d'eau dans le profil cultural, les plantes se trouvent dans des conditions pédologiques et d'humidité qui stimulent leur croissance [31]. Il en résulte une production importante de biomasse dans ces régions très sensibles aux aléas pluviométriques.

## Conclusion

Les barrières semi-perméables de conservation de l'eau et des sols, combinées à l'apport de compost ou de fumier ont permis une réduction significative du ruissellement et des pertes en terre. Les cordons pierreux et les bandes enherbées ont augmenté l'humidité du sol particulièrement en amont des diguettes et ainsi, pourraient jouer un rôle majeur dans la collecte des eaux de ruissellement. Cependant, les résultats ont montré que la conservation de l'eau sans addition de nutriments ne donne pas lieu à une augmentation significative de la production de la culture, particulièrement en année où les pluies sont suffisantes et bien réparties. L'application d'amendements organiques dans les champs aménagés de cordons ou de bandes enherbées a induit un accroissement substantiel de la production en grains et en paille de sorgho. Ainsi, la conservation des sols et l'apport d'amendements devraient être combinés pour accroître la productivité du sol. Cependant, il est essentiel de procéder à une bonne gestion des bandes végétatives afin d'éliminer leurs effets d'ombrage et de concurrence (eau, nutriments) sur la croissance du sorgho situé à proximité des bandes (taille des herbes et des racines).

Les éléments nutritifs du sol jouent un rôle critique dans l'amélioration de l'efficacité de la demi-lune et du zai. Cette étude a montré que sur un zipellé dégradé, le simple fait de restaurer des conditions favorables d'humidité du sol ne suffisait pas pour améliorer la production de la culture. Les pratiques des demi-lunes et du zai peuvent être des méthodes efficaces de

restauration de la productivité des sols encroûtés lorsqu'elles sont accompagnées d'apports d'engrais organiques et minéraux nécessaires à la croissance des cultures.

## Remerciements

Les auteurs remercient le projet CES/AGF et l'assistance technique R.R35 financés par le Fonds international pour le développement agricole (Fida), l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Inera) au Burkina Faso, l'Université de Wageningen aux Pays-Bas et la Fondation internationale pour la science (Fis, Suède) pour leurs contributions financières à la réalisation de cette étude. Ils adressent aussi leur remerciement à Éric Roose (IRD) pour les différents amendements apportés au manuscrit.

## Références

1. Lal R. Agronomic impact of soil degradation. In : Lal R, Blum WH, Valentin C, Stewart BA, eds. *Methods for assessment of soil degradation*. *Adv Soil Sci* 1998 ; 459-73.
2. Mando A, Zougmore R, Zombré NP, Hien V. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In : Floret C, Pontanier R, eds. *La jachère en Afrique tropicale ; de la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances*. Paris : John Libbey Eurotext, 2001 ; 311-39.
3. Food and Agriculture Organization (FAO). *World agriculture : towards 2010. An FAO study*. Rome : Alexandratos, 1995.
4. Sivakumar MVK, Wallace JS. Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone : Need, relevance and objectives of the workshop. In : Sivakumar MVK, Wallace JS, Renard C, Giroux C, eds. *Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone*. Proc. Int. Workshop, Niamey, Feb. 1991, Institute of Hydrology. Wallingford : IAHS Press, 1991 ; 3-10.
5. Bationo A, Mokwunye AU. 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. *Fert Res* 1991 ; 29 : 117-25.
6. Stroosnijder L. Modelling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecolog Modelling* 1996 ; 92 : 79-88.
7. Roose E. Introduction à la GCES. *Bull Fao des Sols* (Rome) 1994 ; (70) : 420 p.
8. Fontes J, Guinko S. *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative*. Toulouse : Ministère de la coopération française, 1995 ; 53 p.
9. Somé L. *Diagnostic 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, 1989, 268 p.
10. FAO-UNESCO. *Carte mondiale des sols. Légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde n° 60*. Rome : FAO, 1989 ; 125 p.
11. Zougmore R, Guillobez S, Kambou NF, Son G. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semi-arid Sahelian zone. *Soil Till Res* 2000 ; 56 : 175-83.
12. Berger M. *L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne*. Agric Dév hors série, fiches techniques. Montpellier : Cirad éditions, 1996 ; 29 p.
13. Janssen BH, Guiking FCT, Van der Eijk D, Smaling EMA, Wolf J, Van Reuler H. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma* 1990 ; 46 : 299-318.
14. Zougmore R, Mando A, Ringersmo J, Stroosnijder L. Effect of combined water and nutrient management on runoff and sorghum yield in semiarid Burkina Faso. *Soil Use Management* 2003 ; 19 : 257-64.
15. Lamachère JM, Serpantié G. Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Bidi, Burkina Faso. In : Kergreis A., Claude J. *Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins-versants en zone aride*. Paris : John Libbey Eurotext, 1991 : 165-78.
16. Piéri C. *Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Paris : Ministère de la Coopération ; Cirad, 1989 ; 444 p.
17. Ouattara B, Sédogo MP, Assa A, Lompo F, Ouattara K, Fortier M. Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso. *Cah Agric* 1998 ; 7 : 9-14.
18. Ouattara B, Sédogo MP, Lompo F. Effets de quatre types de substrats organiques sur le système poral d'un sol ferrugineux tropical sous culture de sorgho. *Sci Techn* 1994 ; 21, 1 : 60-77.
19. Mando A. The effect of mulch on the water balance of Sahelian crusted-soils. *Soil Technol* 1997 ; 11 : 121-38.
20. Ouédraogo E, Mando A, Zombré NP. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric Ecosyst Environ* 2001 ; 84 : 259-66.
21. Roose E. *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. Paris : Orstom éditions, 1981 ; 567 p.
22. Zougmore R, Kambou NF, Ouattara K, Guillobez S. Sorghum-cowpea intercropping : An effective technique against runoff and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). *Arid Soil Res Rehabilitation* 2000 ; 14 : 329-42.
23. Lal R. *Role of mulching techniques in tropical soil and water management*. Technical Bulletin. Ibadan : IITA, 1975.
24. Velthof GL, Beuichem van ML, Raijmakers WMF, Janssen BH. Relation between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and soil* 1998 ; 200 : 215-26.
25. Ganry F, Badiane A. La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. *Agric Dev* 1998 ; 18 : 73-80.
26. Mustin M. *Le compost. Gestion de la matière organique*. Paris : François Dubusc, 1987 ; 954 p.
27. Zougmore R, Kambou NF, Zida Z. Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semi-arid Burkina Faso. *Soil Till Res* 2003 ; 71 : 143-9.
28. Feller C, Ganry F. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrasystème tropical. III. Effet du compostage et de l'enfouissement de divers résidus de récolte sur la répartition de la matière organique dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale* 1982 ; 37 : 262-9.
29. Delas J, Molot C. Effet de divers amendements organiques sur les rendements du maïs et de la pomme de terre cultivés en sols sableux. *Agronomie* 1983 ; 3 : 19-26.
30. Feller C, Beare MH. Physical control of organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 1997 ; 79 : 69-116.
31. Piéri C. *Fertility of soils. A future for farming in the West African Savannah*. Berlin : Springer Verlag, 1992 ; 348 p.