

# Le paillage traditionnel en milieu soudano-sahélien : effets sur les conditions biophysiques du sol et la production de sorgho

Fidèle. G. HIEN\*, M. SLINGERLAND\*\*, V. HIEN\*

## Résumé

Pour les paysans du Centre-Nord du Burkina Faso, le paillage de fanes de *Loudetia togoensis* améliore les rendements du sorgho. Les travaux récents dans cette région ont surtout porté sur les aspects socio-économiques de la pratique telles les stratégies et motivations paysannes, l'intensité et les contraintes de la pratique. La présente étude, conduite en milieu réel en 1996 et 1997, a porté sur l'influence du paillage sur des paramètres biophysiques et physico-chimiques de la culture de sorgho (*Sorghum vulgare*). Les résultats discutés ici traitent de l'influence du paillage sur les conditions hydrodynamiques du sol (ruissellement, infiltrabilité, évaporation) et leur incidence directe sur la germination et l'installation des cultures d'une part, et sur la production primaire du sorgho d'autre part. Ainsi au cours de la première année (1996), trois traitements ont été comparés entre eux et avec un témoin : paille simple (6000 kgMS.ha<sup>-1</sup>) ; paille (6000 kgMS.ha<sup>-1</sup>) + fumier (2000 kg.ha<sup>-1</sup>) ; paille (6000 kgMS.ha<sup>-1</sup>) + phosphate naturel (« Burkina Phosphate », 200 kg.ha<sup>-1</sup>). Repris une seconde année, l'essai a permis notamment de mesurer l'effet cumulatif et résiduel de ces traitements et d'introduire des tests liés à l'effet d'autres amendement minéraux. Les résultats ont montré que, en conditions pluviométriques normales, le paillage réduit le ruissellement, augmente l'infiltration de 4 à 7 fois et diminue l'évaporation de 30 à 50 % pendant la période de germination et d'installation des semis, par rapport au témoin. L'accroissement significatif de la disponibilité en eau s'est traduit par une germination plus rapide et plus complète sur les parcelles paillées. Les rendements moyens de paille du sorgho (de 1340 à 2730 kgMS.ha<sup>-1</sup> selon la saison) et de grains (400 à 1060 kg.ha<sup>-1</sup>) étaient significativement supérieurs à ceux des témoins qui variaient de 200 à 480 kgMS.ha<sup>-1</sup> de paille et de 44 à 140 kg.ha<sup>-1</sup> de grains selon l'année. Ils ont aussi confirmé la corrélation positive entre la pluviométrie et la production primaire du sorgho.

**Mots-clés :** paillage, ruissellement, évaporation, germination, rendements, sorgho.

## Influence of traditional mulching on soil biophysical characteristics and sorghum production in sudano-sahelian region

### Abstract

According to farmers of the Centre-North of Burkina Faso, mulching with *Loudetia togoensis* hay improves sorghum production. In this region, recent studies dealt especially with socioeconomic aspects like farmers strategies and motivations, mulching intensity and constraints. Based on those studies, an experiment on farmers' fields was carried out during the 1996 and 1997's to measure the impact of mulching on biophysical and physico-chemical parameters. The results discussed here deal with the effect of mulching on hydrodynamic characteristics of the topsoil (runoff, infiltrability, daily evaporation) during the seedlings installation period; the final impact on sorghum production was also measured. Three treatments were compared to a control: mulching (6000 kgDM.ha<sup>-1</sup>), mulching (6000 kgDM.ha<sup>-1</sup>) + manure (2000 kg.ha<sup>-1</sup>); mulching (6000 kgDM.ha<sup>-1</sup>) + rock phosphate (200 kg.ha<sup>-1</sup>). The results were that, in normal rainfall conditions, mulching reduced runoff, increased infiltration 4 to 7 times and reduced 30 to 50 % the daily evaporation. The higher water availability resulted in a significantly faster and higher germination rate for mulched plots. Average production of straw (1340 to 2730 kgDM.ha<sup>-1</sup>) and grains (400-1060 kg.ha<sup>-1</sup>) were significantly higher than on control plots (140-480 kg.ha<sup>-1</sup> dry matter and 45-140 kg.ha<sup>-1</sup> grains). Those results confirmed that primary production is significantly determined by the rainfall features.

**Key words:** mulching, runoff, evaporation, germination, primary production, sorghum.

\* IINERA, Station de Kamboinsé. 01 B.P. 476 Ouagadougou 01 (Burkina Faso)

\*\* Antenne Sahélienne, Université Agronomique de Wageningen / Université de Ouagadougou 01, B.P. 5385, Ouagadougou 01 (Burkina Faso)

## Introduction

Le paillage des sols avant le semis à partir de la nécromasse de *Loudetia togoensis* connaît une expansion sans précédent dans les régions soudano-sahéliennes du Burkina Faso depuis les sécheresses des années 1980 comme technique de conservation des eaux et des sols et de gestion de la fertilité des sols. Les paysans s'accordent pour reconnaître les effets bénéfiques du paillage sur la production de céréales, le sorgho en particulier qui constitue dans le Centre-Nord du pays la culture associée à cette pratique. Cependant, les travaux scientifiques sur la pratique en milieu sahélien n'ont pas fourni jusqu'ici de conclusions formelles sur les processus biophysiques et physico-chimiques qui déterminent cette augmentation de la production. Au Niger, MARSCHNER *et al.* (1995) ont constaté que l'apport de résidus de mil (*Pennisetum glaucum* L.) utilisés comme paillis à  $2000 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$  n'a pas d'incidence sur le bilan hydrique des sols mais améliore la nutrition phosphorée du mil, grâce notamment à une augmentation de la mobilité du phosphore dans le sol et au développement racinaire des plantes, entraînant un accroissement de la production de matière sèche. Au Burkina Faso, les travaux récents ont été réalisés dans le Centre-Nord du pays (BARNING et DAMBRÉ, 1994 ; LAFAY et RANSON, 1995 ; MASDEWEL, 1995 ; SLINGERLAND et MASDEWEL, 1996). Ces travaux ont surtout fourni un éclairage sur des aspects socio-économiques de la pratique : ainsi, le paillage traditionnel est surtout pratiqué sur les sols « chauds », c'est-à-dire les glacis dénudés et les terres hautes, avec comme culture de base le sorgho.  $6000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de matière sèche en moyenne sont épandus, à la fin de la saison sèche, sur les sols cultivés ; le semis intervient généralement après deux à trois bonnes pluies. L'opération s'accompagne parfois d'un brûlis de la paille deux jours après le semis, au moment où les mauvaises herbes ont déjà germé ; toutefois, ce brûlis n'est pratiqué que dans les bas-fonds plus humides. Ces travaux n'ont cependant pas abordé de manière précise les processus biophysiques et physico-chimiques découlant de cette pratique et qui déterminent l'accroissement de la production. C'est donc dans le but de mieux comprendre et de quantifier ces processus qu'un essai agronomique a été conduit dans le village de Tagalla (Burkina Faso) au cours des années 1996 et 1997, en vue d'étudier d'une part les effets du paillage sur les conditions biophysiques de la culture de sorgho et d'autre part l'incidence de la pratique sur les flux et le bilan des éléments nutritifs. Les résultats ici discutés traitent des effets du paillage sur les conditions hydrodynamiques du sol (ruissellement, infiltrabilité, évaporation), la germination et l'installation des semis ainsi que sur la production de biomasse et de grains du sorgho. Les aspects physico-chimiques seront discutés dans une publication ultérieure.

## Matériel et méthodes

Le village de Tagalla est situé 27 km au sud-ouest de Kaya, (N-E de Ouagadougou), dans la province du Sanmatenga ; la pluviométrie annuelle moyenne est de 650 mm (1962-1992). Dans la région, le paillage concerne surtout les « champs de village » ou « champs intermédiaires » situés entre les « champs de case » près des concessions et les « champs de brousse » les plus éloignés. En effet, selon une enquête menée en 1994, 50 % des champs de village reçoivent de la paille. Ils sont suivis à 38 % par les champs de case qui reçoivent en priorité les résidus ménagers — dont les déchets issus du battage des céréales —

ou le fumier mélangé ou non à la paille. Lorsque le fumier fait défaut, la paille fait le reste. Les champs de brousse sont ceux qui reçoivent le moins d'intrants : 51 % d'entre eux ne reçoivent aucun intrant (LAFAY et RANSON, 1994).

L'essai agronomique a donc été installé dans un champ de village situé sur des sols bruns ferruginisés (Bolé en langue locale) moyennement profonds. Ce champ est aménagé, comme la plupart des champs, de cordons pierreux isohypses destinés à freiner le ruissellement et l'érosion du sol. Partant des pratiques locales (paillage avec ou sans fumier) d'une part et de l'hypothèse que les sols de la région sont généralement carencés en phosphore d'autre part, l'essai a consisté d'abord (1996) à comparer entre eux et avec un témoin non paillé (T) les traitements suivants :

- paillage simple :  $6000 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$  de paille de *Loudetia togoensis* ( $P_a$ ) ;
- paille + fumier :  $6000 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$  de paille +  $2000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de fumier de petits ruminants ( $P_aF$ ) ;
- paille + phosphate naturel :  $6000 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$  de paille +  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de « Burkina Phosphate » broyé ( $P_aP$ ).

Les doses de fumier et de Burkina Phosphate (BP) correspondent aux doses annuelles recommandées par la Recherche agronomique burkinabé pour l'entretien de la fertilité des terres de culture. L'essai a été installé en aval d'un cordon pierreux sur des parcelles de  $100 \text{ m}^2$  ( $5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ) disposées en long dans le sens de la pente. Chaque traitement a été répété six fois et les parcelles disposées de façon aléatoire au sein de six blocs. Pendant la seconde année (1997), et prenant en compte les premiers résultats, chaque parcelle a été subdivisée en deux sous-parcelles de  $50 \text{ m}^2$  ( $5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ) et les traitements suivants ont été testés :

- paillage simple ( $P_a/P_a$ ) ;
- paille + fumier ( $P_aF/P_aF$ ) ;
- paille + Burkina Phosphate ( $P_aP/P_aP$ ) ;
- témoin sans paille (T) ;
- effet résiduel du paillage simple (Res  $P_a$ ) ;
- effet résiduel de paille + fumier (Res  $P_aF$ ) ;
- effet résiduel de paille + Burkina Phosphate (Res  $P_aP$ ) ;
- effet résiduel du fumier : paille simple succédant à paille + fumier ( $P_a/P_aF$ ) ;
- effet résiduel du Burkina Phosphate : paille simple à la suite de paille + BP ( $P_a/P_aP$ ) ;
- paille +  $50 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$  (sous forme d'urée) +  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de BP sur parcelles témoins initiales ( $P_aNP/T$ ) ;
- paille +  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de BP sur parcelles témoins initiales ( $P_aP/T$ ) ;
- paille +  $50 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$  sur parcelles paille simple initiales ( $P_aN/P_a$ ).

Le tableau I résume le dispositif expérimental utilisé pendant les deux saisons de culture.

**Tableau I.** Le dispositif expérimental déployé au cours des essais en 1996 et 1997 : nature des traitements et nombre d'observations par traitement. Tagalla, Bukina Faso.

Traitements 1996	Témoin (T)	Paille simple (P <sub>a</sub> )	Paille + Fumier (P <sub>a</sub> F)	Paille+ BP (P <sub>a</sub> P)									
Nbre observations	6	6	6	6									
Traitements 1997	T	P <sub>a</sub>	NP	P <sub>a</sub> P	P <sub>a</sub>	ResP <sub>a</sub>	P <sub>a</sub> N <sub>a</sub>	P <sub>a</sub> F	ResP <sub>a</sub> F	P <sub>a</sub>	P <sub>a</sub> P	ResP <sub>a</sub> P	P <sub>a</sub>
Nbre observations	6	3	3	6	3	3	6	3	3	6	3	3	

BP : Burkina Phosphate (phosphate naturel broyé).

La paille, récoltée sur les hautes terres environnantes (tenant lieu de zone sylvo-pastorale), a été épandue aux quantités requises, sous forme d'un matelas de 2 cm d'épaisseur, entre le 1<sup>er</sup> et le 15 mai, conformément au calendrier culturel local. Dans les parcelles expérimentales, un dispositif de mesure du ruissellement a été mis en place la première année sur quatre parcelles témoins et sur quatre parcelles avec paille dont deux dans les parcelles du traitement P<sub>a</sub> et une dans les deux autres (P<sub>a</sub>F et P<sub>a</sub>P). Ce dispositif, mis au point localement (HIEN, 1995) consiste en une placette en tôle de 1 m<sup>2</sup> (1,25 m x 0,80 m) enfoncée à 6 cm de profondeur au moins, avec un collecteur logé dans une fosse située en aval ; il permet de mesurer le ruissellement après chaque pluie.

Les données ainsi obtenues permettent de rechercher par régression linéaire la relation entre la pluviométrie et le ruissellement pendant les différentes phases de la saison de culture. En tenant compte des résultats antérieurs acquis par HIEN (op cit.) sur trois années de mesures, les données obtenues au cours de la seule année 1996 se sont révélées suffisantes pour renseigner sur cette relation. Les parcelles ont été ensemencées avec une variété locale de sorgho blanc à la densité de 3,25 poquets / m<sup>2</sup> le 5 juin de chaque année, après respectivement une pluviométrie cumulée de 45,5 mm en 4 jours en 1996 et 70 mm en 5 jours en 1997.

Conformément aux pratiques traditionnelles sur ce type de sols, la paille épandue n'a pas été brûlée. Les semences ont subi un traitement fongicide avant semis, à l'exception du bloc B1 en 1996. Le resemis est intervenu le 9<sup>e</sup> jour après semis (JAS), suivi de trois sarclages entre le 14<sup>e</sup> et le 83<sup>e</sup> JAS. La récolte est intervenue entre le 140<sup>e</sup> (1997) et le 145<sup>e</sup> JAS (1996).

Les mesures d'évaporation qui ont commencé aussitôt après le semis ont été effectuées à l'aide d'anneaux métalliques de 250 cc, tenant lieu de microlysimètres (BOAST, 1986). Elles ont été répétées quatre fois dans une parcelle témoin et quatre fois dans deux parcelles paillées d'un même bloc. Elles ont duré de 5 à 10 jours selon les facilités techniques de réalisation et ce, jusqu'à la fin de la germination et du resemis. En plus du ruissellement après chaque pluie, on a mesuré pendant chaque saison de culture les paramètres suivants : la germination (délai et durée), le nombre de poquets vides à la fin de la germination ou mortalité primaire, la production de paille et de grain à la récolte.

# Résultats

## La pluviométrie

La pluviométrie totale enregistrée pendant les deux campagnes d'essai a été de 625 mm en 41 jours en 1996 et de 536,5 mm en 40 jours en 1997. La pluviométrie utile (allant du semis jusqu'au 120° JAS) était respectivement de 538 mm et 441 mm. La figure 1 présente l'évolution comparée de la pluviométrie décadaire pendant les deux saisons de croissance.

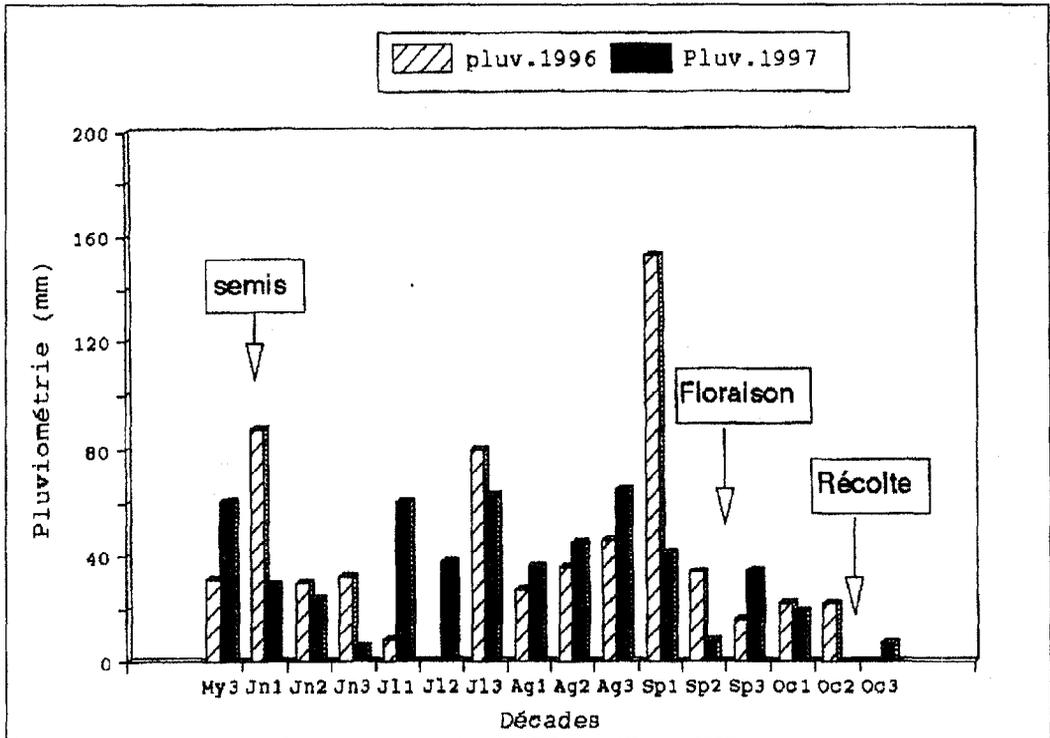


Figure 1. Pluviométrie décadaire Tagalla pendant les saisons de croissance 1996/1997.

## Le paillage et l'infiltrabilité du sol

Les résultats obtenus des mesures de ruissellement ont montré qu'une relation du type

$$R(\text{mm}) = a.P(\text{mm}) - b$$

lie le ruissellement R et la hauteur de pluie tombée P ; où a et b sont des constantes de la régression linéaire. Ils confirment ainsi ceux obtenus à Yabo par HIEN (1995). Cette relation a permis de calculer la valeur  $P_0$  par la formule  $a.P_0 - b = 0$  d'où  $P_0 = b / a$ . Cette valeur, appelée pluie d'imbibition, est le seuil à partir duquel le ruissellement est déclenché (seuil de ruissellement).  $P_0$  peut ainsi servir à caractériser l'effet de l'état de surface du sol, dont le paillage, sur l'infiltrabilité de celui-ci (HIEN, *op cit.*). Ainsi, les valeurs de  $P_0$  obtenues au cours de la saison de croissance 1996 ont évolué selon les données du tableau II.

**Tableau II.** Valeurs calculées de la pluie d'imbibition ou seuil de ruissellement  $P_0$  (en mm) au cours de différentes phases de la saison de culture 1996.  $r$  représente le coefficient de corrélation de l'équation  $R(\text{mm}) = a.P(\text{mm}) - b$ . Tagalla, Burkina Faso.

Période	Traitements		
	Témoins (T)	Avec paille ( $P_a$ , $P_aF$ et $P_aP$ )	Episodes pluvieux
Du semis au premier sarclage	1 ( $r = 0,95$ )	7,4 ( $r = 0,94$ )	9
Du semis au 2 <sup>e</sup> sarclage (effet 1 <sup>er</sup> sarclage)	2,5 ( $r = 0,96$ )	5,9 ( $r = 0,96$ )	14
Du semis au 3 <sup>e</sup> sarclage (effet des 2 premiers sarclages)	5,3 ( $r = 0,95$ )	7,0 ( $r = 0,90$ )	34
Du 1 <sup>er</sup> sarclage à la fin de la saison (effet cumulé 3 sarclages)	5,2 ( $r = 0,97$ )	6,3 ( $r = 0,92$ )	32
Moyenne de la saison	5,0 ( $r = 0,95$ )	6,4 ( $r = 0,90$ )	41

Quant au ruissellement proprement dit, les valeurs du taux moyen observées au cours des principales périodes de la saison pluvieuse sont consignées dans le tableau III.

**Tableau III.** Évolution du taux de ruissellement moyen (en % de la pluviométrie) sur les parcelles soumises aux différents traitements, pluviométrie cumulée et hauteur de pluie maximale enregistrée au cours de la saison de croissance 1996. Tagalla, Burkina Faso.

Période	Traitements			
	Témoins (T)	Avec paille ( $P_a$ , $P_aF$ et $P_aP$ )	Pluie cumulée (mm)	Pluie maximale (mm)
Installation (avant 1 <sup>er</sup> sarclage)	41	14,6	174	54
Entre 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> sarclage	5,2	2,1	25	7,5
Grandes pluies (entre 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> sarclage)	51,8	25,7	345	71
Fin d'hivernage (après 3 <sup>e</sup> sarclage)	49,7	21,1	79,5	21
Moyenne saison	46,6	21,1	623,5	71

## L'évaporation

Des difficultés techniques liées au fonctionnement des appareils de mesure ont perturbé les mesures d'évaporation la première année, donnant les résultats partiels de 1,7 mm / jour dans les parcelles paillées contre 2,4 mm / jour dans les parcelles témoins par temps normal 2 jours après une pluie. La seconde année, l'évaporation journalière, mesurée sur 5 à 7 jours dans les parcelles non paillées variait de 2,2 mm / jour en juin (après le semis) à 2,9 mm / jour

en juillet, contre respectivement 1,2 à 1,4 mm/jour dans les parcelles avec paille. Ces valeurs se situent autour de la valeur moyenne de l'évaporation journalière dans la zone soudano-sahélienne (2,0 mm) mesurée par STROOSNIJDER et KONÉ (1982).

### La germination et l'installation des semis

Au cours des deux années d'essai, la germination des semis est intervenue en moyenne 4 jours après le semis dans les parcelles non paillées et 2,5 à 3,3 JAS dans les parcelles avec paille (tableau III). A la fin de la période de germination qui a duré 4 à 5 jours selon les traitements, la proportion moyenne de poquets vides enregistrée par traitement se présente comme dans le tableau IV.

**Tableau IV.** Délai de la germination (en nombre de jours après semis) et taux de mortalité primaire (pourcentage de poquets vides à la fin de la germination). Tagalla, Burkina Faso.

Traitements	T		P <sub>a</sub>		P <sub>a</sub> F		P <sub>a</sub> P		Pluviométrie cumulée à 10 JAS (mm)
	Délai de germination (JAS)	Taux mortalité primaire (%)	Délai de germination (JAS)	Taux mortalité primaire (%)	Délai de germination (JAS)	Taux mortalité primaire (%)	Délai de germination (JAS)	Taux mortalité primaire (%)	
1996	4a	6,8	2,9c	4	2,5c	3,6	2,9c	4,4	103,5
1997	4a	45,8**	3,3c	16,6*	3c	14,5*	3,3c	13,4*	33
Observations/ Traitement	6	6	6	6	6	6	6	6	

L'analyse statistique (analyse de variance) des résultats relatifs au délai de la germination dans les traitements répétés en 1996 et 1997 (T, P<sub>a</sub>, P<sub>a</sub>F et P<sub>a</sub>P) a montré qu'il y a une différence hautement significative ( $p < 0,01$ ) entre les témoins T (4 JAS en moyenne) et tous les autres traitements avec paille (2,5 à 3 JAS). Quant à la durée de la germination, elle a varié de 4 jours dans les traitements sans paille à 5 jours dans les traitements avec paille ; l'analyse n'a pas révélé, en la matière, de différence significative entre les traitements au cours des deux années. La mortalité primaire (après germination et avant resemis) a été plus élevée sur les parcelles témoins, particulièrement au cours de la seconde année (cf. tableau IV). Si en 1996, l'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative entre les parcelles témoin (6,8 % en moyenne) et les parcelles paillées (3,6 à 4,4 %), elle a montré que de 1996 à 1997, la différence était significative pour les traitements avec paille entre eux (en moyenne 3,6 à 4,4 % en 1996 contre 13,4 à 16,6 % en 1997) à hautement significative pour les témoins entre eux (de 6,8 % en moyenne en 1996 à 45,8 % en 1997). En 1997 en particulier, la différence entre parcelles témoins (45,8 %) et parcelles paillées (13,4 à 16,6 %) a été accentuée. De même, et tous traitements confondus, l'analyse de variance des résultats par blocs a montré qu'il y avait, en 1996, une différence hautement significative ( $p < 0,01$ ) entre la mortalité primaire moyenne observée dans le bloc B1 dont les semences n'avaient pas reçu de traitement fongicide avant semis (15,3 % en moyenne) et celle des 5 autres blocs (2,6 %).

## La production primaire du sorgho

Les résultats des deux années ont montré que pour un même traitement, la production de paille et de grain a globalement baissé de la première à la deuxième année ; elle est ainsi allée du double au simple, voire moins en ce qui concerne le rendement grain dans les traitements témoin (T), Paille + fumier ( $P_aF$ ) et paille + BP ( $P_aP$ ). Tant en ce qui concerne la production de paille que celle de grain, les rendements moyens observés au cours des deux saisons ont varié selon l'ordre décroissant des traitements suivants :  $P_aF > P_a > P_aP > T$ . La répétition des traitements pendant deux ans n'a pas changé cet ordre de classement (tableau V).

**Tableau V.** Rendements moyens de paille et de grain obtenus à la récolte avec les différents traitements au cours des campagnes 1996 et 1997. Tangalla, Burkina Faso.

Traitements	Observations	Rendements paille (kgMS.ha <sup>-1</sup> )		Rendements grain (kgMS.ha <sup>-1</sup> )	
		1996	1997	1996	1997
$P_a$	6	2 265 a	1 341 ab	774 a	483 a
$P_aF$	6	2 729 a	1 812 a	1 064 a	512 a
$P_aP$	6	1 836 ab	1 346 ab	687 a	394 ab
T	6	480 c	202 c	140 c	44 c
Res $P_a$	3		466 c		86 bc
Res $P_aF$	3		557 c		94 bc
Res $P_aP$	3		745 bc		146 bc
$P_a/P_aF$	3		1 229 ab		270 abc
$P_a/P_aP$	3		1 401 ab		413 ab
$P_aN/P_a$	3		1 074 b		239 abc
$P_aN/T$	3		2 036 a		513 a
$P_aP/T$	3		1 152 ab		325 abc

L'analyse de variance a montré que :

– En comparant les traitements au cours d'une même campagne

Autant pour la production de paille que de grain, il y a, en 1996 et 1997, une différence hautement significative ( $p < 0,01$ ) à significative ( $p < 0,05$ ) entre tous les traitements avec paille d'une part et ceux sans paille de l'autre, y compris les traitements résiduels de 2<sup>e</sup> année. Les traitements avec paille entre eux n'ont pas révélé de différence significative au seuil de probabilité de 5 %, à l'exception remarquable des rendements paille dans les traitements  $P_aN/T$  et  $P_aF$  d'un côté qui sont significativement différents des traitements  $P_aN/P$  de l'autre.

En effet, on a noté en 1997 que le traitement « paille + azote + phosphate naturel » ( $P_aNP/T$  : 2036 kgMS.ha<sup>-1</sup>) a donné un rendement moyen de paille nettement supérieur à celui de tous les autres traitements avec paillage : il présentait une différence significative ( $p < 0,05$ ) avec le traitement « paille + azote » ( $P_aN/P$  : 1074 kgMS.ha<sup>-1</sup>) ; cette différence n'était pas significative ( $p = 5,6 \%$ ) avec le traitement « paille + phosphate naturel » ( $P_aP/T$  : 1 152 kgMS.ha<sup>-1</sup>) ni avec les traitements « paille simple cumulée » ( $P_a/P_a$  : 1 341 kgMS.ha<sup>-1</sup>), « paille + phosphate naturel cumulé » ( $P_aP/P_aP$  : 1 346 kgMS.ha<sup>-1</sup>) et « paille simple succédant à paille + fumier » ( $P_a/P_aF$  : 1 229 kgMS.ha<sup>-1</sup>) ( $p = 8 \%$ ). De même, la différence entre le traitement « paille + fumier » ( $P_aF$  : 1 812 kgMS.ha<sup>-1</sup>) et le traitement « paille + fumier » ( $P_aN/P$  : 1074 kgMS.ha<sup>-1</sup>) n'était pas significative au seuil de 5 % ( $p = 6 \%$ ). Pour la production de grain, on a seulement observé en première année une différence, au seuil de probabilité de 5,7 % (non significative), entre les traitements « paille + fumier » ( $P_aF$  : 1 064 kg.ha<sup>-1</sup>) et « paille + phosphate naturel » ( $P_aP$  : 687 kg.ha<sup>-1</sup>) ; répétés en 1997, ces deux traitements ont cependant présenté un écart plus réduit entre eux, donnant respectivement des rendements moyens de 512 et 394 kg.ha<sup>-1</sup> (tableau V).

– En comparant les traitements d'une campagne à l'autre

Pour un même traitement, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative (au seuil de 5 %) en ce qui concerne les témoins (T), malgré une chute des rendements moyens entre 1996 et 1997 de respectivement 480 à 202 kgMS.ha<sup>-1</sup> de paille et de 140 à 44 kg.ha<sup>-1</sup> de grain. En ce qui concerne le traitement « paille + fumier » ( $P_aF$ ), la différence du rendement paille entre 1996 et 1997 (respectivement 2 729 et 1812 kgMS.ha<sup>-1</sup>) n'était pas significative ( $p = 9 \%$ ). Cette différence est significative ( $p = 0,01$ ) pour ce qui est du rendement moyen de grain (1 064 et 512 kg.ha<sup>-1</sup> respectivement). Quant au traitement « paille + fumier » ( $P_a$ ), l'analyse n'a pas révélé de différence ( $p = 9 \%$ ) entre les rendements paille de 1996 et 1997 (respectivement 2 265 et 1 341 kgMS.ha<sup>-1</sup>).

Entre traitements différents, l'analyse a révélé que les résultats de la combinaison « paille + fumier » ( $P_aF$ ) obtenus en 1996 (2 729 kgMS.ha<sup>-1</sup> de paille et 1064 kg.ha<sup>-1</sup> de grain) sont significativement supérieurs ( $p < 0,01$ ) à ceux obtenus en 1997 avec le traitement « paille simple » ( $P_a$  : 1 341 kgMS.ha<sup>-1</sup> de paille et 483 kg.ha<sup>-1</sup> de grain) et le traitement « paille + phosphate naturel » ( $P_aP$  : 1346 kgMS.ha<sup>-1</sup> de paille et 394 kg.ha<sup>-1</sup> de grain). De même, les rendements paille et grain obtenus avec le traitement « paille simple » ( $P_a$ ) en 1996 se sont révélés supérieurs à ceux de la combinaison « paille + phosphate naturel » ( $P_aP$ ) en 1997.

## Discussion — conclusion

Les résultats globaux enregistrés pendant les deux années d'expérimentation, dont la différence majeure réside dans le régime pluviométrique, montrent que les effets biophysiques du paillage (à 6 000 kaMS.ha<sup>-1</sup>) sont déterminants pour la germination et l'installation des semis pendant la période qui précède le premier sarclage. Ces effets biophysiques se traduisent notamment par :

– Une réduction (de plus de 64 % en 1996) des pertes d'eau par ruissellement et donc une amélioration de l'infiltrabilité des sols (de 4 à 7 fois en 1996) par rapport aux parcelles non

paillées. En effet, sans labour préalable, le seuil de ruissellement observé sur sol nu est très bas (proche de 1 mm), ce qui confirme pour cette région, les observations de HIEN *et al.* (1997). Le premier sarclage améliore notablement cette infiltrabilité sur les parcelles non paillées (le seuil de ruissellement —  $P_0$  — est passé à 2,5 mm en 1996) ; en revanche, en dispersant la paille, le sarclage réduit le seuil de ruissellement sur les parcelles initialement paillées :  $P_0$  est passé de 7,4 mm à 5,9 mm en 1996. L'effet cumulé des sarclages successifs, de la décomposition des pailles et du développement végétatif des cultures a été de rapprocher progressivement le niveau d'infiltrabilité des parcelles témoins ( $P_0 = 5,2$  mm) de celui des parcelles initialement paillées ( $P_0 = 6,3$  mm) (tableau II).

– Une réduction de 30 à 50 % (1996 et 1997) de l'évaporation à la surface du sol pendant la phase d'installation des semis (juin-juillet). Cette réduction de l'évaporation devrait, selon TIAN *et al.* (1994), être accompagnée d'une baisse de la température pendant la même période.

– L'effet cumulé des deux phénomènes précédents a été une amélioration significative de la précocité de la germination et un allongement relatif de sa durée. Les observations de la seconde année indiquent que, même si cette logique ne semble pas perturbée par les variations du régime pluviométrique, celui-ci conditionne significativement les résultats absolus de germination et de mortalité des semis pendant la phase d'installation.

Il apparaît donc que l'effet initial du paillage avec des fanes de *Loudetia togoensis* (6 000 kgMS.ha<sup>-1</sup>) sur les sols brunifiés à Tagalla a été une amélioration significative de l'infiltration et une conservation prolongée de l'humidité des sols. L'accélération et le prolongement de la germination qui en ont découlé ont permis une amélioration quantitative de la germination. Ceci expliquerait alors que le paillage soit utilisé par les paysans, en priorité comme mesure de conservation de l'eau et des sols sur les sols « chauds » tels que les glacis encroûtés et dénudés (*Zipélés* en langue locale) et autres glacis de haut de pente ou *Zegedega* (LAFAY et RANSON 1995 ; SLINGERLAND et MASDEWEL, 1996). La mortalité primaire des semis, à la fin de la germination, a été logiquement plus élevée sur les parcelles témoins en raison de cette différence de régime hydrique du sol. L'ensemble de ces paramètres, ainsi que les différences observées entre les traitements sont significativement accentués par la pluviométrie, en particulier pendant la première décade suivant le semis (figure 1). L'absence de traitement antifongique des semences est apparue également comme un facteur de mortalité due à un accroissement des fontes de semis. Dans ce cas, il paraît logique que les paysans brûlent la paille deux jours après le semis, alors que les mauvaises herbes ont déjà germé, pour lutter aussi contre les fontes de semis (LAFAY et RANSON, 1995). En même temps, la limitation de ce brûlis aux sols « froids » de bas-fonds plus humides confirme que l'amélioration de l'humidité initiale des sols « chauds » soit le premier effet recherché du paillage.

L'incidence du paillage sur la production de matière sèche et de grains a confirmé les constats des paysans : tous les traitements utilisant la paille ont permis une production de matière sèche 4 à 6 fois plus élevée et des rendements en grains 5 à 7 fois supérieurs aux parcelles témoins en conditions pluviométriques normales (1996). Cet écart s'est accru jusqu'à 11 fois avec une pluviométrie déficitaire (-100 mm de pluviométrie utile en 1997) ; ce qui confirme une fois de plus la corrélation positive entre la pluviométrie et la production

primaire dans les régions semi-arides comme le Sahel. La combinaison de paille ( $6\ 000\ \text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de fumier d'étable ( $2\ 000\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) donne à cet égard les résultats les plus performants, suivie par le « paillage simple » et la combinaison « paille + phosphate naturel » (tableau V). Ce constat explique et confirme celui de SLINGERLAND et MASDEWEL (1996) selon lequel le fumier d'étable est l'amendement le plus associé au paillage à Tagalla. La différence entre les traitements « paille simple » ( $P_a$ ) et « paille + Burkina phosphate » ( $P_aP$ ), demeurée constamment en faveur du premier pendant les deux années, ne constitue pas une surprise au regard des résultats déjà acquis par l'INERA : la faible solubilité du BP en fait de préférence un amendement de fond. Ce constat, effectué la première année, a du reste suggéré l'hypothèse que le BP puisse connaître des difficultés de solubilisation lorsque combiné seul avec la paille. Les traitements  $P_aNP/T$  et  $P_aP/T$  ont en conséquence été introduits dans le dispositif expérimental de la deuxième année, avec des résultats qui corroborent l'hypothèse : l'apport de  $50\ \text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $P_aNP/T$ ) a quasiment doublé la production de paille ( $2\ 036\ \text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) par rapport à la combinaison  $P_aP/T$  ( $1152\ \text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). L'analyse de variance montre cependant que la différence entre les deux traitements n'est pas significative ( $p = 5,6\ \%$ ). La répercussion sur la production de grain est restée toutefois moins prononcée :  $513\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  pour  $P_aNP/T$  contre  $325\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  pour  $P_aP/T$  ; ceci, en raison vraisemblablement du déficit pluviométrique enregistré en 1997. Les résultats des mesures d'absorption de N et P effectuées pendant la croissance des cultures devraient permettre de tirer des conclusions plus formelles. De la même façon, la comparaison des rendements moyens de paille des traitements  $P_aN/P_a$  ( $1\ 074\ \text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et  $P_aNP/T$  ( $2\ 036\ \text{kgMS}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), en révélant une différence significative ( $p = 0,04$ ), semble indiquer que l'apport de  $50\ \text{kg} / \text{ha}$  d'azote seul à la paille est susceptible d'accentuer la carence des sols en phosphore : les rendements moyens de paille et de grain obtenus du traitement  $P_aN/P_a$  sont en effet inférieurs à ceux obtenus du traitement « paille + BP cumulé » ( $P_aP/P_aP$ ) et, en particulier, du traitement « paille simple cumulé » ( $P_a/P_a$ ) (tableau V). Cette différence n'est pas significative du point de vue statistique (pour trois répétitions par traitement) ; elle suggère cependant, comme l'ont montré les travaux de SÉDOGO (1993) avec les résidus de céréales, que la décomposition de la paille puisse effectivement entraîner une immobilisation du N, d'autant plus qu'il est apporté sous forme soluble. On note enfin que, du point de vue des effets résiduels des traitements testés la première année, l'arrêt du paillage a entraîné automatiquement une baisse significative de la production primaire ; celle-ci est restée toutefois supérieure (2 fois en moyenne) à la production des parcelles qui n'avaient jamais reçu de paille (tableau V). D'après ces résultats, l'apport de paille simple à la suite d'une combinaison « paille + fumier » ( $P_a/P_aF$ ) ou « paille + BP » ( $P_a/P_aP$ ) a résulté, comparativement à une répétition du paillage simple, en une manifestation plus notable de l'effet résiduel du Burkina phosphate.

Indépendamment des traitements, la production primaire a été manifestement influencée en 1996 par une infestation de *Striga* (*S. hermontheca*), particulièrement sur les blocs 5 et 3 : les chutes de production enregistrées par rapport à la moyenne des blocs ont été respectivement de 35 % (paille et grains) pour le bloc B5 et de 41 % (paille) et 49 % (grains) pour le bloc B3. A cette hétérogénéité spatiale est venue s'ajouter la variation des conditions pluviométriques en deuxième année (1997) qui a permis d'enregistrer une plus grande discrimination entre les traitements comportant le paillage. Cette variabilité spatiale et inter-

annuelle des conditions pédoclimatiques, caractéristique de la région sahélienne, affecte nécessairement la qualité des comparaisons des moyennes effectuées par les tests statistiques. Le dispositif expérimental a intégré autant que possible cette variabilité en essayant d'éliminer certaines sources de variation comme l'humidité liée aux cordons pierreux. Si en première année, le nombre de répétitions par traitement (6) était constant et assez élevé, la réduction de ce nombre à 3 en seconde année pour une partie des traitements apparaît aussi comme une des limites aux conclusions tirées ici. Néanmoins, les résultats obtenus montrent bien que le paillage traditionnel à base de fanes de *Loudetia togoensis*, tel que pratiqué à Tagalla, présente au moins un avantage agronomique réel : en agissant sur les conditions microclimatiques des sols, il améliore l'infiltration, accroît et conserve plus longtemps l'humidité et favorise une germination plus rapide et plus complète. Cela permet d'aboutir à une augmentation significative des rendements de sorgho en particulier lorsque la paille est combinée avec d'autres amendements organiques (fumier) ou minéraux (N et P). En considérant d'une part que les engrais chimiques sont trop coûteux pour être utilisés dans des cultures destinées en priorité à la subsistance et d'autre part que la disponibilité du fumier est la première limite rencontrée par les paysans dans l'intensification de leur production, il paraît pleinement justifié d'affiner l'analyse des données collectées, les données physico-chimiques en particulier, en vue notamment de mieux appréhender les effets résiduels des traitements et d'évaluer, par les flux et le bilan minéral qu'ils engendrent, la durabilité en termes d'éléments nutritifs des pratiques traditionnelles. □

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Université Agronomique de Wageningen (UAW, Pays-Bas) pour avoir financé cette étude. Ils remercient aussi le Professeur Docteur Ingénieur Leo Stroosnijder de l'UAW pour la relecture et les corrections apportées au document.

## Références bibliographiques

- BARNING N.M. et DAMBRE J., 1994. Les styles d'exploitation, une classification des exploitations dans la province du Sanmatenga Burkina Faso. Étude dans le cadre du projet PEDI (MARA-CRPA-CN Kaya). DGIS-DAF/WF, la Haye, Les Pays-Bas, 50 p.
- BOAST C.W., 1986. Évaporation from bare soil measured with high spatial resolution in A. KLUTE (ed). Methods of soil analysis part 1: physical and mineralogical methods. Agronomy Monograph n° 9 (2nd edition). Madison (USA), p. 889-900.
- FAO-UNESCO, 1994. Soil map of the world. Revised legend with corrections. Technical paper 20, FAO, Rome.
- HIEN G.F., 1995. La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel: une étude de l'effet de mesures de C.E.S. au Burkina Faso. Tropical Resources Management Papers No 7, Université Agronomique de Wageningen, Pays Bas, 223 p.
- HIEN G.F., RIETKERK M. et L. STROOSNIJDER, 1997. Soil variability and effectiveness of soil and water conservation in the Sahel. Arid Soil Research and Rehabilitation, 11: 97-104.
- LAFAY C. et RANSON C., 1995. Le paillage: étude de la prise de décision du cultivateur et des contraintes rencontrées. Antenne Sahélienne U.A.W. Rapport d'étudiants N( 70, Ouagadougou, Burkina Faso, 33 p.
- MARSCHNER H., REBAFKA, F.P. HAFNER H. and BUERKERT A., 1995. Crop residue management for increasing production of millet on acid sandy soils in Niger, West Africa. in R.A. DATE et al. (eds), Plant Soil Interaction at Low pH. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, p. 767-770.
- MASDEWEL M., 1995. Évaluation de l'efficacité du paillage et de l'évolution de la mise en défens dans un domaine subsahélien: cas du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle IPR Katibougou, Mali, 68 p.

**MICHEL K., 1994.** Wind erosion in the southern Sahelian zone: Extend, control and effects on millet production. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart, Allemagne. 99 p.

**SEDOGO M. P., 1993.** Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse Doc. es-sciences (sciences du sol), Univ. Nat. de Côte d'Ivoire, 332 p.

**SLINGERLAND M. et MASDEWEL M., 1996.** Le paillage sur le plateau central du Burkina Faso: une technique très utilisée et bien adaptée aux moyens des paysans. in C. REIJ, I. SCOONES and C. TOULMIN (eds): Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA-CDCS-Karthala, p. 127-132.

**STROOSNIJDER L. et KONE D., 1982.** Le bilan d'eau du sol. in PENNINGG DE VRIES et DJITEYE (eds). La productivité des pâturages sahéliens: une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle (1<sup>re</sup> édition). PUDOC, Wageningen, Pays Bas, p. 133-165.

**SCHUTJES G., 1991.** Impact des réalisations des mesures anti-érosives sur la gestion des terroirs dans la province du Bam au Burkina Faso. Etude sur la classification traditionnelle Mossi (rapport). PATECORE-CIEH-UAW. Ouagadougou, Burkina Faso, 35 p.

**TIAN G., KANG B. T. et BRUSSAARD L., 1994.** Effet du paillage des résidus végétaux à compositions chimiques contrastées sur la croissance du maïs et l'accumulation des éléments nutritifs. La recherche à l'IITA N° 9: 7-11.