

REHABILITATION DES SOLS DEGRADÉS : ROLES DES AMENDEMENTS DANS LE SUCCES DES TECHNIQUES DE DEMI-LUNE ET DE ZAI AU SAHEL

R. Zougmore, Z. Zida, F.N. Kambou

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (IN.E.R.A.)
03 BP 7192, Ouagadougou 03, Burkina Faso

Tél. : (226) 44 00 42 - Fax : (226) 34 02 71
E-mail : robert.zougmore@messsrs.gov.bf

RESUME

La technique des demi-lunes a été nouvellement introduite dans la zone Nord du Burkina Faso pour la réhabilitation des terres dénudées (*zipellé*). Cette technique, à l'instar du *zai* et du paillage, semble intéresser de nombreux groupements de paysans. Un essai a été alors conduit en vue d'étudier l'impact des techniques de demi-lune et de *zai*, en association avec différents types de substrats organiques, sur la productivité du sol. Installé sur un *zipellé* de pente 1%, le dispositif expérimental comprend 11 traitements où les 2 techniques sont combinées à un apport d'amendement organique et/ou minéral. Le sol est de type ferrugineux tropical superficiel avec une profondeur utile de 25 à 30 cm; Il est pauvre en matière organique (1,2%), en azote (0,6 g kg⁻¹) et en phosphore (0,66 g kg⁻¹). La pluviosité moyenne par an est de 600 mm.

Les résultats ont montré que l'apport de fumier ou de compost, associé ou non au Burkina phosphate, permet d'obtenir des productions de grains de sorgho allant de 600 à 1600 kg ha⁻¹. Par contre, le simple fait de casser la croûte superficielle en vue d'améliorer l'infiltration ne semble pas favoriser une plus forte production du sorgho malgré le bon état hydrique du sol (rendement en grains < 100 kg ha⁻¹). Ainsi, dans la zone sahéenne, le *zai* et la demi-lune pourraient être des méthodes efficaces de restauration de la productivité des sols dégradés.

Mots clés : Réhabilitation, sols dégradés en surface, demi-lune, *zai*, paillage, substrat organique

ABSTRACT

Half moon technique has been recently introduced in the Northern zone of Burkina Faso as method for the rehabilitation of sealed and crusted bare soils called "*zipellé*". This technique, like *zai* and mulching practice, seems to interest many farmers. A trial was then conducted to study the effect on soil productivity of half moon and *zai* in association with different types of organic substrates. The experimental design consisted in 11 treatments where the 2 techniques were combined to organic amendment and/or to mineral fertilisers. The soil, with a slope of 1% and a usual depth of 25 to 30 cm, was a Ferric Lixisol with low organic matter content

(1,2%), low nitrogen (0,6 g kg⁻¹) and total phosphorus content (0,66 g kg⁻¹). The mean annual rainfall is 600 mm.

It was found that supply of animal manure or compost associated or not with local phosphorus fertiliser allowed to obtain from 600 to 1600 kg ha⁻¹ of sorghum grain. But, the fact to destroy the subsurface crusted and sealed layer to improve water infiltration didn't increase sorghum yield despite the optimal soil water content (grain yield < 100 kg ha⁻¹). Then, in the Sahelian zone, *zai* and half moon techniques could be effective methods for the restoration of degraded soil productivity.

Key words: rehabilitation, subsurface degradation soil, half moon, *zai*, mulching, organic matter.

INTRODUCTION

La dégradation des ressources naturelles demeure de nos jours un problème majeur pour le développement agro-sylvo-pastoral des zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest (Pontanier *et al.*, 1995). En effet, dans ces zones, les conditions climatiques très précaires, l'explosion démographique et l'état de pauvreté accrue des sols ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation faite par l'homme des ressources naturelles et leur régénération dans le temps et dans l'espace (Morin, 1993; Aronson *et al.*, 1993). Ces facteurs ont entraîné une disparition progressive de la végétation et une importante dégradation chimique et physique des terres cultivées (Pieri, 1989). Les caractéristiques en sont une perte de structure, la formation d'une couche battante en surface, une réduction de perméabilité, une augmentation de la compacité, le manque d'aération, la limitation de l'enracinement. On assiste alors à un dérèglement du régime hydrique du sol et l'apparition d'un pédoclimat présentant une aridité prononcée (Stroosnijder, 1996 ; Ambouta et al., 1996). L'accentuation du phénomène d'érosion a abouti à la longue à l'apparition de sols dénudés et indurés appelés *zipellé* au Burkina Faso, sols hardés au Tchad... Dans ces pays, ces glacis dénudés dont l'importance est de plus en plus inquiétante constituent en somme des « jachères dégradées » (Mando *et al.*, 1999). Selon une évaluation réalisée au Burkina (Maatman et al., 1998), environ 24 % des terres arables du pays sont fortement dégradées et menacent de nuire à la qualité du milieu naturel et à la sécurité alimentaire à moyen et long termes.

Dans la partie Nord du Plateau Central au Burkina Faso, l'augmentation au fil des années des plages de sols dénudés a contribué à une aggravation du problème de disponibilité des terres cultivables. Cela n'a fait qu'accentuer la pression anthropique sur le foncier, aggravant ainsi le phénomène de dégradation rapide des terres cultivées.

Devant une telle situation d'insuffisance de terres cultivables, les paysans ont développé des initiatives pour pouvoir casser la croûte de battance et exploiter un temps soit peu ces « clairières ». Ainsi, des techniques comme le *zai*, le paillage, les diguettes anti-érosives, les bandes de végétation, les demi-lunes, sont des techniques de plus en plus usitées par des ONG, des projets de développement et des organismes publics pour la réhabilitation des sols au Sahel (Vlaar, 1992 ; Zougmore *et al.*, 1999).

Le *zai* est une technique de culture en poquets qui a été bien décrite par Roose et al., (1993) ; C'est un système complexe de restauration de la productivité des sols dégradés par une concentration des eaux de ruissellement et des matières organiques dans des cuvettes.

La technique de demi-lunes a été nouvellement introduite dans cette zone et semble intéresser de nombreux groupements villageois. C'est une technique très répandue au Niger où elle a connu ses débuts dans la région de Tahoua (Rochette, 1989). En tant qu'ouvrage de collecte des eaux de ruissellement, la demi-lune est surtout adaptée aux zones sahéliennes et soudano-sahéliennes (Vlaar, 1992) où elle est réalisée sur des glacis à faible pente (< 3%). On y apporte de la matière organique en vue d'optimiser la production des cultures dans la cuvette. Mais face à la faible disponibilité du fumier et au coût des engrais minéraux actuellement pas à la portée des paysans (Ganry et Badiane, 1998), il s'avère nécessaire de trouver des alternatives pouvant permettre une amélioration de la fertilité des terres de culture. La recherche a alors entrepris d'évaluer l'efficacité des deux pratiques d'économie d'eau (*zai*, demi-lune) en les associant avec différents amendements organiques et/ou minéraux.

La présente étude a eu pour objectif d'étudier l'impact des techniques de demi-lune et de *zai* en association avec différents types de substrats organiques sur la productivité d'un sol ferrugineux tropical du Plateau Central.

MATERIEL ET METHODES

L'essai a débuté en 1998. Il est mené dans le village de Pougyango, situé à 125 km au Nord-Ouest de Ouagadougou. Les coordonnées géographiques de la localité sont 12° 59' de latitude Nord et 2° 9' de longitude Ouest.

Le climat est de type sahélo-soudanien avec deux saisons : une saison sèche qui dure de novembre à juin et une saison pluvieuse qui s'étend de juillet à octobre. La pluviosité moyenne annuelle des 30 dernières années est de 630 mm et les pluies sont très irrégulières dans le temps et dans l'espace. La pluviosité de l'hivernage 1998 a atteint 690 mm et les pluies étaient bien réparties, ce qui a contribué à un bon développement des cultures. En 1999, on a enregistré un total pluviométrique de 747 mm. Des inondations temporaires ont été observées durant le mois d'août qui a connu une très forte concentration des pluies (19 pluies avec un total mensuel de 223 mm).

Le *zipellé* a une pente moyenne de 1%. Le sol est de type ferrugineux tropical superficiel avec une profondeur utile de 25 à 30 cm. L'état de surface dominant (plus de 60%) est de type ERO mais on rencontre une structure gravillonnaire par endroit avec plus de 60 % de graviers ferrugineux qui s'incrustent dans une légère pellicule de sable fin. Sous cette pellicule se trouve la croûte ERO, très compacte et imperméable à l'eau (Casenave et Valentin, 1989). La texture du sol est sablo-limoneuse sur l'horizon 0-30 cm. Une caractérisation chimique avant la mise en place de l'essai (tableau II) a montré que le sol est très fortement acide ($pH_{eau} < 5,0$), pauvre en matière organique (1,2 %), en azote ($0,6 \text{ g kg}^{-1}$) et en phosphore total ($0,66 \text{ g kg}^{-1}$). La CEC est moyenne ($0,11 \text{ cmol kg}^{-1}$).

La végétation est de type savane arbustive (UNESCO, 1973) et les principales espèces rencontrées sont *Acacia spp*, *Combretum spp*, *Butyrospermum paradoxum*. Les espèces herbacées sont composées essentiellement de *Loudetia togoensis* et *Schoenfeldia gracilis*.

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher comprenant 4 répétitions et 11 traitements où les 2 techniques sont combinées à un apport d'amendement organique et/ou minéral. Les dimensions parcellaires sont de 8m x 5m. Les traitements sont les suivants :

T0 :	témoin absolu	DL :	demi-lune sans aucun apport
DL_C :	demi-lune + compost	DL_F :	demi-lune + fumier
DL_P :	demi-lune + paillage	DL_{CB} :	demi-lune + compost + BP
DL_{PB} :	demi-lune + paillage+BP	DL_{EM} :	demi-lune + BP + NPK + Urée
Z_F :	zaï traditionnel	Z_{FP} :	zaï traditionnel + paillage
		Z_{FPB} :	zaï traditionnel + paillage + BP

Les demi-lunes sont réalisées en utilisant un diamètre de 4 m. Elles sont séparées entre elles de 2 m sur la même ligne et de 4 m entre deux lignes successives. Par demi-lune, la superficie cultivée est de 6,3 m². La densité moyenne est de 31 750 trous de zaï (0,80 x 0,40 m) et de 417 demi-lunes par hectare.

Selon la pratique habituelle, le fumier et le compost sont apportés à la dose de 35 kg (une brouette), soit une fumure de 14,6 t ha⁻¹. Pour les traitements zaï, on apporte 0,3 kg de fumier par poquet, (soit une fumure de 9,5 t ha⁻¹). Le fumier utilisé était constitué de déjections de bœufs tandis que le compost a été produit dans une fosse compostière selon la technique vulgarisée (Sédogo, 1983; Berger, 1996). Selon ses auteurs, la composition chimique moyenne de ces substrats est comme suit (tableau I):

**Tableau I : Composition chimique du compost et du fumier
(Sédogo 1983; Berger 1996)**

	N (g kg ⁻¹)	P2O5 (g kg ⁻¹)	K2O (g kg ⁻¹)	MgO (g kg ⁻¹)	CaO (g kg ⁻¹)	N° Ech.
Fumier	10,0	3,5	15,0	6,7	8,0	30
Compost	07,6	0,9	09,6	5,0	4,6	10

N° Ech.: nombre d'échantillons analysés

Une couche de 10 cm environ de paille, correspondant à une quantité de 5 t ha⁻¹, est étalée entre les poquets de zaï et dans la demi-lune au niveau des traitements DL_P, DL_{PB}, Z_{FP}, et Z_{FPB}.

L'engrais coton NPK (14N-23P-14K-6S-1B) est apporté à la dose de 100 kg ha⁻¹ et l'urée (46 % N) à la dose de 50 kg ha⁻¹. Le phosphore est apporté à la dose de 20 kg ha⁻¹ de P sous forme de Burkina phosphate dosé à 25,4 % P₂O₅.

Il a été cultivé du sorgho variété IRAT 204, de 90 jours de cycle semis-maturité. Le creusage des cuvettes de zaï et des demi-lunes a été réalisé le 20/06/1998. Le creusage l'année suivante a été fait le 27/05/1999. Le semis du sorgho a été fait le 02/07 en 1998 et le 5/07 en 1999.

Les mesures suivantes ont été réalisées dans chaque parcelle :

- Détermination des caractéristiques chimiques de sol en vue d'évaluer l'état de fertilité du sol par traitement. A cet effet, on a prélevé des échantillons de sol sur l'horizon 0-20 cm en vue de déterminer les teneurs des éléments suivants: pH_{eau}, pH_{kcl}, C, MO, N, K, Na, Ca, Mg, CEC. Un prélèvement de sol dans trois placettes, en raison de deux échantillons par placette, a été réalisé en novembre 1997 sur le site d'essai pour déterminer les propriétés chimiques initiales du sol. Un autre prélèvement a été réalisé en décembre 1998 après la récolte du sorgho dans les cuvettes de demi-lune et de *zai*.
- Mesures de l'humidité pondérale du sol en vue de suivre l'état hydrique du sol durant la saison pluvieuse. Des prélèvements d'échantillons de sol à la tarière, aux profondeurs 0-10, 10-20 et 20-40 cm, ont été effectués le 9/07/98 deux jours après une pluie de 30,5 mm et après un cumul pluviométrique de 152,5 mm ; puis le 18/09/98 soit 4 jours après une pluie de 35 mm et un cumul pluviométrique de 578,4 mm. Trois échantillons ont été prélevés dans les cuvettes de *zai* et de demi-lune pour constituer un échantillon composite par traitement. Deux prélèvements de sol ont également été réalisés en 1999 pour déterminer l'humidité du sol (12/08 et 23/09).
- Détermination des paramètres de rendement à la récolte : poids grain, poids panicule, poids tige, et poids de matière sèche totale après trois semaines de séchage au soleil.

Le logiciel Genstat (General statistic) a été utilisé pour l'analyse statistique des données. Des analyses de variance ont été réalisées et le test de Newman-Keuil a été utilisé pour établir les différences significatives entre les traitements au seuil 5%.

RESULTATS

Effet des traitements sur les caractéristiques chimiques du sol

Les propriétés chimiques du sol avant les apports d'amendement étaient homogènes (tableau II). L'analyse de variance n'a pas révélé de différences significatives entre les propriétés chimiques de départ.

Tableau II : Composition chimique du sol avant les apports d'amendements

	PH eau	pH kcl	C g kg ⁻¹	MO %	N g kg ⁻¹	C/N	Ptot. g kg ⁻¹	Ca cmol kg ⁻¹	K cmol kg ⁻¹	Mg cmol kg ⁻¹	Na cmol kg ⁻¹	CEC cmol kg ⁻¹
E1	0,18a	3,75a	7,13a	1,23a	0,61a	11,9a	0,66	1,08a	0,16a	0,20a	0,34a	0,11a
E2	0,12a	3,74a	7,72a	1,33a	0,63a	12,2a	0,67	1,25a	0,15a	0,22a	0,44a	0,11a
E3	0,30a	4,11a	7,64a	1,32a	0,63a	12,1a	0,65	1,59a	0,22a	0,20a	0,54a	0,11a
Prob. F	0,44	0,43	0,16	0,16	0,85	0,91	0,83	0,24	0,46	0,85	0,48	0,50
Signif. 5%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SED	0,26	0,26	0,21	0,035	0,06	0,79	0,02	0,21	0,05	0,03	0,13	0,003
N° Ech.	6,0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Cv (%)	5,3	6,6	2,7	2,7	9,4	6,5	3,9	16,0	29,2	13,0	30,1	3,8

Sur le tableau II, E1, E2, E3 sont les placettes de prélèvement; les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil 5% ; Prob. F est la probabilité; Signif. 5% est le niveau de signification au seuil 5% où NS correspond à une absence de signification (non significatif); SED est l'erreur standard de la différence des moyennes; N° Ech est le nombre d'échantillons ; Cv (%) est le coefficient de variation.

Par contre, après la mise en place des traitements, l'analyse de variance montre qu'il existe des différences très significatives entre les traitements (tableau III). Les traitements Z_{FPB} , DL_F , Z_F , T0 et Z_{FP} ont un pH_{eau} compris entre 5,66 et 5,01 tandis que les autres traitements affichent une gamme de pH de l'ordre de 4,5. Au niveau du pH_{kcl}, on observe les mêmes tendances : les traitements Z_{FPB} , DL_F et Z_F ont des pH_{kcl} supérieurs à 4,3 tandis que tous les autres traitements ont des valeurs de pH comprises entre 3,9 et 3,7. On constate donc que le milieu est fortement acide pour le premier groupe de traitement et très fortement acide pour le second groupe. On remarque aussi que les traitements du premier groupe sont ceux ayant reçu du fumier (Z_{FPB} , DL_F , Z_F et Z_{FP}). Les pH les plus acides sont observés sur le traitement ayant reçu la fumure minérale recommandée (DL_{EM}) suivie des traitements où l'on a apporté du compost (DL_C , DL_{CP}). Il semble exister un lien entre la nature des fumures et le pH du sol.

Dans l'ensemble, le sol demeure pauvre en MO (<3%). Des différences hautement significatives sont observées entre les traitements (tableau II). Le taux de matière organique est plus élevé dans les traitements ayant reçu du fumier que sur ceux ayant reçu du compost ou de la paille. Les traitements *zai* (Z_{FPB} et Z_F) obtiennent un taux de MO supérieur à 1,5 % suivis de DL_F et Z_{FP} (entre 1,4 et 1,3 %) puis de DL_{CP} , T0 et DL (entre 1,1 et 1,0 %). Les taux les plus faibles sont observés au niveau des traitements DL_C , DL_P , DL_{PB} , et DL_{EM} . Les traitements *zai* ont des teneurs plus élevées que les traitements demi-lune et l'adjonction du BP au compost semble augmenter le taux de MO (Z_{FPB} et DL_{CP}). En outre, on constate que le témoin a un taux de MO nettement supérieur à ceux des traitements demi-lune + paillage.

Les teneurs en azote des traitements se situent entre $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ et $0,5 \text{ g kg}^{-1}$. Le niveau d'ensemble est donc faible. La tendance selon laquelle les traitements ayant reçu du fumier montrent les meilleurs taux se vérifie pour l'azote. En effet, les traitements Z_F , Z_{FPB} , et Z_{FP} viennent en tête avec un taux supérieur à $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ suivis de DL_{CP} et DL_C (compost), de DL_{EM} (NPK+urée+BP), de DL_P , DL, T0 et DL_{PB} (paillage).

Le rapport C/N se situe entre 14 et 10. Il est moyen. Le traitement Z_{FPB} a le C/N le plus élevé (14) tandis que le rapport le plus bas est constaté au niveau du traitement DL_C . L'analyse de variance a également montré qu'il existe des différences hautement significatives entre les traitements. Les teneurs en phosphore total ont nettement augmenté au niveau des traitements DL_F , Z_F , Z_{FP} et Z_{FPB} ($>0,7 \text{ g kg}^{-1}$). Ces traitements ont tous reçu du fumier. En ce qui concerne le calcium, ce sont encore les traitements Z_{FPB} , DL_F et Z_F qui obtiennent les plus forts taux avec une moyenne supérieure à 2 cmol kg^{-1} . Les traitements T0 et DL_{PB} ont les teneurs les plus faibles ($<1,5 \text{ cmol kg}^{-1}$). La même tendance est observée pour le Mg et la CEC. Il n'est pas ressorti de différence significative pour les teneurs en Na et K.

Tableau III : Teneurs en éléments chimiques du sol selon les traitements en 1998

	PH eau	pH kcl	C g kg ⁻¹	MO %	N g kg ⁻¹	C/N	Ptot. ‰	Ca cmol kg ⁻¹	K cmol kg ⁻¹	Mg cmol kg ⁻¹	Na cmol kg ⁻¹	CEC cmol kg ⁻¹
T0	5,1 bc	3,9 b	6,4 cd	1,10 cd	0,51 ab	12,5 ab	0,64 cd	1,44 ab	0,12	0,22 ab	0,22	0,10 b
DL	4,6 cd	3,8 b	5,9 d	1,03 d	0,52 ab	11,5 ab	0,59 d	1,54 ab	0,15	0,27 ab	0,40	0,13 ab
DL _C	4,6 cd	3,8 b	5,5 d	0,95 d	0,54 ab	10,2 b	0,55 d	1,51 ab	0,18	0,23 ab	0,29	0,13 ab
DL _F	5,4 ab	4,4 a	8,3 abc	1,44 abc	0,72 a	11,5 ab	0,83 abc	2,48 a	0,48	0,73 ab	0,28	0,15 ab
DL _P	4,7 cd	3,8 b	5,3 d	0,91 d	0,52 ab	10,4 b	0,53 d	1,47 ab	0,13	0,33 ab	0,36	0,12 ab
DL _{CP}	4,6 cd	3,8 b	6,6 cd	1,13 cd	0,58 ab	11,2 ab	0,66 cd	1,77 ab	0,15	0,36 ab	0,51	0,13 ab
DL _{PB}	4,8 cd	3,8 b	5,2 d	0,89 d	0,45 b	11,4 ab	0,52 d	1,35 b	0,17	0,17 b	0,25	0,11 ab
DL _{EM}	4,5 d	3,7 b	5,4 d	0,92 d	0,53 ab	10,4 b	0,54 d	1,81 ab	0,2	0,42 ab	0,37	0,12 ab
Z _F	5,3 ab	4,3 a	9,2 ab	1,59 ab	0,73 a	12,6 ab	0,92 ab	2,23 ab	1,09	0,73 ab	0,40	0,14 ab
Z _{FP}	5,0 bcd	3,9 b	7,5 bcd	1,29 bcd	0,64 ab	11,8 ab	0,75 bcd	1,73 ab	0,74	0,53 ab	0,30	0,14 ab
Z _{FPB}	5,7 a	4,5 a	9,9 a	1,70 a	0,72 a	13,8 a	0,99 a	2,54 a	0,4	0,94 a	0,49	0,16 a
F prob.	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
Signif 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

T0: témoin absolu; DL: demi-lune sans aucun apport; DL_C: demi-lune + compost; DL_F: demi-lune + fumier; DL_P: demi-lune + paillage; DL_{CB}: demi-lune + compost + BP; DL_{PB}: demi-lune + paillage + BP; DL_{EM}: demi-lune + BP + NPK + Urée; Z_F: *zai* traditionnel; Z_{FP}: *zai* traditionnel + paillage; Z_{FPB}: *zai* traditionnel + paillage + BP; Les traitements ayant la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%; Fprob.: probabilité ; Signif 5%: niveau de signification au seuil 5%; HS : hautement significatif ; NS : non significatif ; S : significatif; SED: erreur standard de la différence de moyennes; Cv (%) : coefficient de variation ; N° Ech. : nombre d'échantillons

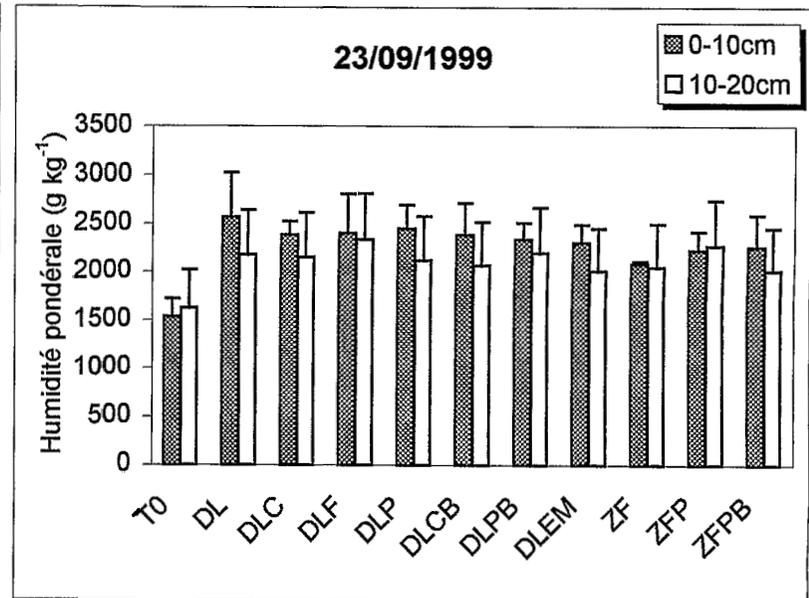
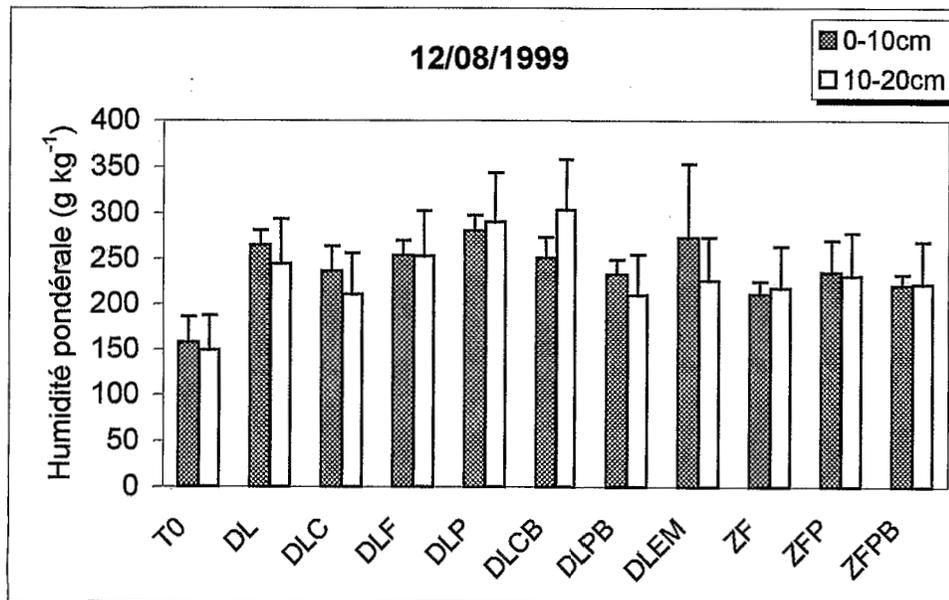
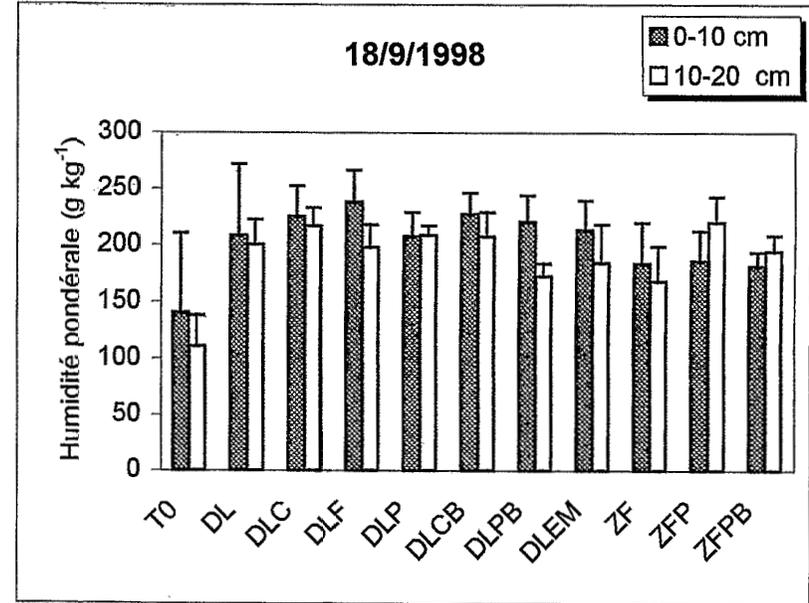
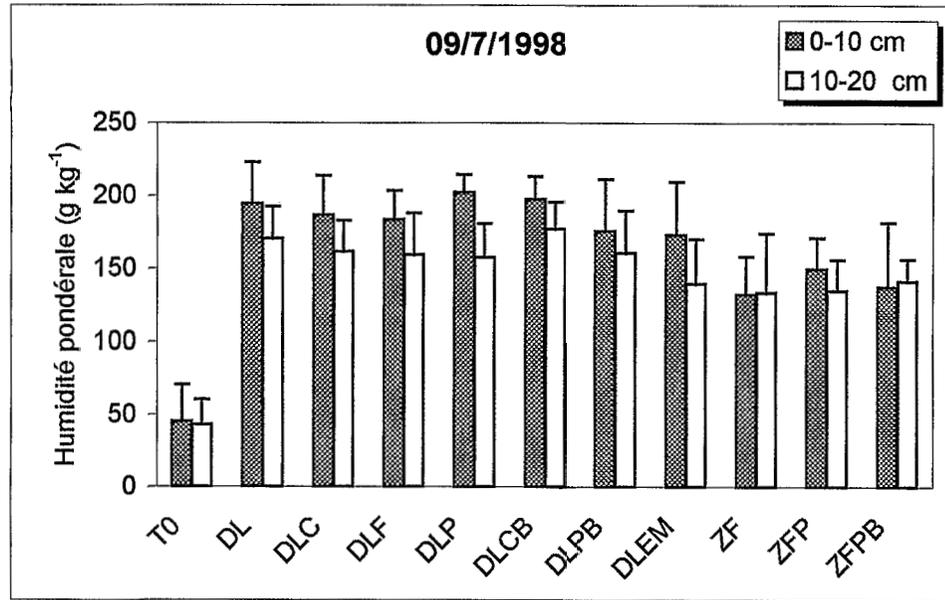
Effet des traitements sur l'état hydrique du sol

La figure n°1 montre l'état hydrique du sol par traitement. En début de saison de pluie 1998 (09/07), on constate une nette différence d'humidité entre tous les traitements et le témoin où l'humidité est la plus faible ($< 50 \text{ g kg}^{-1}$). Sur l'horizon 0-20 cm, l'humidité est plus importante dans les traitements demi-lune que dans les traitements *zai*. En effet, tous les traitements demi-lune ont une humidité moyenne supérieure à 150 g kg^{-1} tandis que dans les parcelles *zai* (Z_F , Z_{FP} , Z_{FPB}), l'humidité moyenne est inférieure à 150 g kg^{-1} .

La rétention d'eau semble plus importante dans les demi-lunes que dans les trous de *zai*. Le taux d'humidité le plus élevé est observé sur le traitement DL_P (202 g kg^{-1}), suivi de DL_{CB} (197 g kg^{-1}). Au niveau des traitements *zai*, la couverture des espaces inter poquets par le paillis (Z_{FP} et Z_{FPB}) entraîne une augmentation du taux d'humidité de 20 g kg^{-1} . On observe aussi que parmi les traitements demi-lune, c'est dans celui où l'on a apporté la fumure minérale (DL_{EM}) que l'humidité est la plus faible (156 g kg^{-1}). Ces tendances sont également observées en pleine saison hivernale (mesures du 18/09). Toutefois, on remarque que les différences entre les traitements s'amenuisent. Le sol a pu emmagasiner suffisamment d'eau à la suite des pluies successives durant la saison. Même au niveau du témoin, le taux d'humidité est passé de 45 g kg^{-1} en début d'hivernage à 140 g kg^{-1} sur l'horizon 0-10 cm.

Une analyse de variance a confirmé qu'il existe des différences significatives entre les traitements et ce pour toutes les profondeurs. En 1999, les différences d'humidité entre les traitements deviennent encore plus faibles que ce soit en pleine saison pluvieuse (12/08) ou en fin d'hivernage (23/09). Contrairement à l'année précédente, les traitements de *zai* (Z_F , Z_{FP} , Z_{FPB}) ont eu pratiquement des taux d'humidité similaires au traitement demi-lune + compost (DL_C : $> 200 \text{ g kg}^{-1}$).

Fig.1: Effet des techniques sur l'humidité du sol en 1998 et 1999



Effet des traitements sur la production de sorgho

L'analyse de variance a montré des différences significatives de rendement en grain et en tige des traitements (tableau IV).

Tableau IV : Effet des traitements sur le rendement en grain et tige du sorgho pendant deux années successives (kg ha⁻¹).

	Rendement en grain		Rendement en tige	
	1998	1999	1998	1999
DL _F	1614 a	1104 a	4291 a	2542 a
DL _{CB}	927 b	1104 a	2729 ab	2479 a
DL _C	1000 b	875 ab	3125 abc	2458 a
Z _{FPB}	708 bc	694 bc	3906 ab	1619 bc
DL _{EM}	500 cd	521 cd	1667 cde	1708 ab
Z _{FP}	438 cde	181 de	2395 abc	744 bcd
DL _{PB}	417 cde	469 cd	1198 cde	1365 abc
Z _F	375 cde	206 de	2125 bcd	725 bcd
DL _P	83 de	146 de	302 de	510 cd
DL	41 de	42 e	114 e	177 d
T0	0 e	0 e	0 e	0 d
F Prob.	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Signif. 5%	HS	HS	HS	HS
SED	155,2	140,1	680,8	388,4
N° Ech.	4	4	4	4
Cv (%)	17,1	17,8	10,4	18,8

T0: témoin absolu; DL: demi-lune sans aucun apport; DL_C: demi-lune + compost; DL_F: demi-lune + fumier; DL_P: demi-lune + paillage; DL_{CB}: demi-lune + compost + BP; DL_{PB}: demi-lune + paillage + BP; DL_{EM}: demi-lune + BP + NPK + Urée; Z_F: *zai* traditionnel; Z_{FP}: *zai* traditionnel + paillage; Z_{FPB}: *zai* traditionnel + paillage + BP; les traitements ayant la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%; Fprob.: probabilité ; Signif. 5%: niveau de signification au seuil 5%; HS : hautement significatif ; SED: erreur standard de la différence de moyennes ; Cv (%) : coefficient de variation ; N° Ech.: nombre d'échantillons

Les rendements sont nuls dans le traitement témoin. Les conditions difficiles de sol dans lesquelles ont vécu les plants de sorgho au niveau de ce traitement pourraient expliquer cette situation. En effet, le sol est très encroûté et très compact, si bien que les jeunes plants qui ont poussé dans les poquets creusés à la daba, sans aucun amendement, arrivent difficilement à se développer. Les quelques pieds qui arrivent à survivre meurent assez rapidement et les tiges disparaissent avant les récoltes.

Les traitements en demi-lune où l'on apporte du fumier ou du compost obtiennent des productions en grain supérieures à la production moyenne dans la zone (800 kg/ha). Le rendement en grain le plus important est celui de DL_F (1614 kg/ha), suivi de DL_C (1000 kg/ha) et de DL_{CB} (927 kg/ha).

Au niveau des traitements *zai*, malgré les apports supplémentaires de paillis (Z_{FP}) et de burkina phosphate (Z_{FPB}), les rendements ne dépassent guère 700 kg/ha. On note toutefois que l'adjonction de BP (Z_{FPB}) dans les trous de *zai* a induit une augmentation significative de 63% du rendement par rapport au traitement Z_{FP} . De même, l'apport de BP seul dans la demi-lune (DL_{PB}) a entraîné une augmentation de 4 fois le rendement (DL_P). Par contre, le paillis dans la demi-lune est nettement moins intéressant du point de vue rendement du sorgho que le paillis dans les parcelles de *zai*. En effet, le rendement en grains et surtout en tige de Z_{FPB} est 2 fois supérieur à celui de DL_{PB} .

La fumure minérale recommandée a permis d'atteindre un rendement de 500 kg/ha, ce qui représente la moitié du rendement obtenu avec le compost seul. Le fait d'améliorer la disponibilité en eau en détruisant la croûte superficielle du sol ne semble pas entraîner une augmentation significative de la production. Le rendement est en effet de 41 kg/ha sur DL contre 83 kg/ha sur DL_P et 1000 kg/ha sur DL_C . En ce qui concerne les rendements en tige, on observe les mêmes tendances qu'au niveau du rendement en grain. En 1998, le poids tige atteint 4291 kg/ha sur DL_F contre 114 kg/ha sur DL et 302 kg/ha sur DL_P . Ces quantités ont baissé de moitié en 1999 tout en gardant les mêmes tendances.

DISCUSSION

Dans les traitements où l'on a effectué des apports de fumier (Z_{FPB} , DL_F , Z_F , Z_{FP}), le milieu est moins acide que sur les autres traitements. En effet, l'apport de fumier a entraîné une diminution de l'acidité du sol tandis que le paillage (DL_P , DL_{PB}), la fumure minérale (DL_{EM}) et le compost (DL_C , DL_{CP}) ont induit une acidification du sol. Plusieurs auteurs ont montré que la nature des amendements et leurs caractéristiques jouent un rôle déterminant dans l'acidité du sol (Pichot et al., 1981; Piéri, 1989). Ganry et Badiane, (1998) affirment qu'après enfouissement des pailles, apparaissent des problèmes liés à la libération d'acides phénols. Le plus souvent, ces acides, produits à partir des substrats organiques, se dissocient alors en solution aqueuse et peuvent s'accumuler jusqu'à acidifier fortement le substrat (Mustin, 1987). Plusieurs travaux ont aussi montré que le fumier est la forme d'apport qui, de par sa teneur en bases, permet le meilleur maintien du pH et limite ainsi l'acidité des sols (Mustin, 1987 ; Piéri, 1989 ; Bado et al., 1997) tandis que l'enfouissement de résidus (pailles) aurait un effet limité.

Les plus fortes teneurs en MO sont observées dans les 4 traitements ayant reçu du fumier (plus de 1,3 % de MO). Il en est de même pour les teneurs en azote, en calcium, en magnésium et pour la CEC. Selon Piéri (1989), l'apport de fumier est la pratique la plus efficace qui, selon les doses et la texture des sols maintient et même accroît le stock organique des sols. Dans ce type de sol à texture sableuse, la capacité d'échange est principalement due à la présence des MO (Feller et Ganry, 1982; Piéri, 1989 ; Cissé, 1986). D'après Delas et Molot (1983), plus le sol est sableux et pauvre en humus et plus il a une faible capacité d'échange. C'est le cas au niveau des traitements DL_{PB} et DL_P où l'on a effectué un apport de paillis non décomposé, donc pauvres en MO.

La destruction de la croûte de surface en découpant l'horizon superficiel dans la demi-lune ou en creusant les trous de *zai* ont entraîné une amélioration temporaire de la porosité et donc de l'infiltrabilité du sol (Roose, 1994 ; Casenave et Valentin, 1989). Les travaux de Charreau et Nicou (1971) et de Nicou et al. (1990) ont montré que dans notre zone d'étude, la porosité des sols est très limitée (environ 40 %) et même insuffisante pour permettre un bon enracinement des cultures. C'est donc par une intervention mécanique que l'on arrive à modifier les caractéristiques physiques et hydriques du sol.

Grâce au bourrelet placé sur la limite aval de la demi-lune et à sa hauteur, la quantité d'eau retenue y est plus importante que dans le *zai*. C'est pour cette raison que le taux d'humidité est nettement plus élevé dans la demi-lune que dans le *zai*. Cependant on a constaté qu'il y a un risque d'engorgement plus important avec les demi-lunes qu'avec le *zai*.

La présence de pailis ou de compost réduirait les pertes d'eau par évaporation, permettant ainsi de maintenir une humidité plus importante dans le sol (Casenave et Valentin, 1992). Dans les traitements en demi-lune où sont faits des apports de fumier (DL_F), l'état hydrique du sol est amélioré grâce aux propriétés hydrophiles de l'humus mais aussi à l'amélioration des caractéristiques physiques du sol par le fumier (propriétés mécaniques du sol, stabilité structurale et porosité du sol). Ganry et Cissé (1994) soulignent que dans les sols ferrugineux cultivés sableux des zones tropicales sèches, la MO prend toute son importance dans les couches de surface du sol, vis-à-vis des bilans hydriques et de la mobilité des éléments minéraux. D'où l'intérêt d'un apport assez conséquent de MO si l'on veut maintenir un équilibre physico-chimique et biologique du sol qui favoriserait un enracinement plus rapide du sol par les cultures (Piéri, 1989). En deuxième année (1999), on a creusé les poquets de *zai* et les cuvettes de demi-lune aux mêmes emplacements qu'en 1998. Ainsi, le sol devient plus meuble et plus poreux car pendant la première année de culture, les racines des plants de sorgho, en colonisant le sol, ont augmenté la porosité du sol (Chopart, 1979).

Les traitements où sont apportés du fumier ou du compost associé ou non au Burkina phosphate donnent les meilleures productions de biomasse. Le fumier ou le compost apportés dans les cuvettes de demi-lune ont permis d'obtenir des rendements en grain de sorgho supérieurs à 1 t/ha. En effet, la production de sorgho sur le traitement DL_F représente 39 fois celle obtenue sur le traitement DL. De même, l'apport de compost a induit une augmentation de 24 fois le rendement en grain obtenu sans aucun apport de fumure. D'autres études menées dans la zone ont abouti à des résultats similaires (Roose et al., 1993 ; Kambou et Zougmore, 1995; Roose et al., 1995). Cette augmentation notable de rendement semble liée à l'action fondamentale de la MO résumée par Piéri (1989) en trois rôles essentiels :

- 1/ elle favorise le développement racinaire des cultures,
- 2/ c'est l'agent principal de stabilisation de la structure des sols,
- 3/ par sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote, elle influence directement la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols.

Malgré la dynamique de la MO et la structure peu perméable dans ce type de sol (Feller et Beare, 1997; Valentin et Bresson, 1992), l'apport d'amendements organiques bien décomposés (fumier, compost) entraîne des modifications importantes du statut minéral du sol. La contrainte hydrique étant levée grâce au stockage de l'eau dans le profil cultural, les plantes sont alors dans des conditions pédo-hydriques favorables à leur croissance (Piéri, 1992). Il s'ensuit une forte production végétale dans ces régions très sensibles aux aléas pluviométriques.

CONCLUSION

Le rôle des éléments fertilisants des cultures est déterminant pour une bonne efficacité des pratiques de *zai* et de demi-lune. Les résultats de cet essai ont montré que sur un *zipellé* dégradé, le simple fait de recréer des conditions hydriques de sol favorables n'est pas suffisant pour améliorer la production du sorgho. La levée de la contrainte hydrique en détruisant la croûte de battance de surface fait apparaître la seconde contrainte majeure qu'est la pauvreté chimique des sols.

Les matières organiques bien décomposées telles le fumier et le compost, apportés dans les trous de *zai* ou de demi-lune, constituent de par leur nature les meilleurs substrats pouvant fournir aux plants de sorgho les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance. Elles permettent de maintenir et même d'accroître le stock organique des sols. D'où l'intérêt d'un apport assez conséquent de MO si l'on veut maintenir un équilibre physico-chimique et biologique du sol qui favoriserait un enracinement plus rapide du sol par les cultures. Les techniques de demi-lune et de *zai* peuvent être des méthodes efficaces de restauration de la productivité des sols encroûtés. Une analyse de l'évolution dans le temps des propriétés physico-chimiques du sol permettrait d'évaluer la durabilité des techniques étudiées ainsi que leur capacité à restaurer le sol.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier du Programme Spécial FIDA de Conservation des Eaux et des Sols et d'Agroforesterie (CES/AGF) dans le Plateau Central du Burkina Faso.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBOUTA J.M.K., VALENTIN C., LAVERDIER M.R. et al., 1996. Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7 :269-275.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H.E., OVALLE C., PONTANIER R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions. I. A view from the south. *Restoration Ecology* ; 1 : 8-17.
- BADO B.V., SEDOGO P.M., CESCAS M.P., LOMPO F., BATIONO A., 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cah. Agric.*, 6 :571-575.
- BERGER M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudan-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. *Coll. Didactiques ORSTOM, Paris*, 227 pp.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. *J. Hydrol.* 130 :231-249.
- CHARREAU C., NICOU R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest Africaine et ses incidences agronomiques. IRAT, *Bull. Agron.* N°23, Paris, 254p.

- CHOPART J.L., 1979. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (Arachide-Mil-Sorgho-Riz pluvial). *Thèse de doctorat INLT, Toulouse*, 160p.
- CISSE L.M., 1986. Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques, INPL, Nancy*, 184p.
- DELAS J., MOLOT C., 1983. Effet de divers amendements organiques sur les rendements du maïs et de la pomme de terre cultivés en sols sableux. *Agronomie 3 (1)* :19-26.
- FELLER C., BEARE M.H., 1997. Physical control of organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma 79* :69-116.
- FELLER C., GANRY F., 1982. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème 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. *L'agron. Trop.*, 37 (3) :262-269.
- GANRY F., BADIANE A., 1998. La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. *Agric. & Dév.* ;18 :73-80.
- GANRY F., GUIRAUD G., DOMMERGUES Y., 1978. Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil pearl millet cropping system of Senegal. *Plant & Soil*, 50 (3) : 647-662.
- KAMBOU N. F., ZOUGMORE R., 1995. Evolution des états de surface d'un "zipellé" soumis à différentes techniques de restauration des sols (Yilou, Burkina Faso). *Bull. Résecau Erosion*, 16 :19-32.
- MAATMAN A., SAWADOGO H., SCHWEIGMAN C., OUEDRAOGO A., 1998. Application of *zai* and rock bunds in the northwest region of Burkina Faso: study of its impact on household level by using a stochastic linear programming model. *Netherlands Journal of Agricultural Science* ; 46 : 123-136.
- MANDO A., ZOUGMORE R., ZOMBRE N.P. ET HIEN V., 1999. Réhabilitation des sols dégradés en Afrique sub-saharienne. In : C. Floret et R. Pontanier (Editeurs), *La jachère en Afrique Tropicale; rôles, aménagements, alternatives*. John Libbey Eurotext, Paris (in press).
- 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 Bulletin* ; 69 pp : 95-128.
- MUSTIN M., 1987. Le compost. Gestion de la matière organique. Ed. François DUBUSC, Paris, 954p.
- NICOU R., OUATTARA B., SOME L., 1990. Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. *L'Agron. Trop.* ;45 (1) :43-57.
- PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN, J.F., ARRIVETS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques. *Agron. Trop* ; 37 : 122-133.

- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. *Ministère de la coopération-CIRAD* ; Paris, 444p.
- PIERI C., 1992. Fertility of soils. A future for farming in the West African Savannah. *SpringerVerlag, Berlin, Allemagne*, 348p.
- PONTANIER R., M'HIRI A., AKRIMI N., ARONSON J. & LE FLOC'H E., 1995. L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? (eds) *John Libbey Eurotext*, Paris. 455p.
- ROCHETTE R.M., 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. *Weikersheim, Margraf*, 592 pp.
- ROOSE E., KABORE V. ET GUENAT C., 1993. Le *zai* : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah. Orstom, sér. Pédol., XXVIII (2) :159-173*.
- ROOSE E. 1994. Introduction à la Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (GCES). *Bull. pédol. FAO, 70, Rome*, 424 pp.
- ROOSE E., KABORE V. ET GUENAT C., 1995. Le *zai*, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso) pp: 249-265. In: R. Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson, E. Le Floc'h. (eds). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* John Libbey Eurotext, Paris.
- SEDOGO 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*, 198p.
- STROOSNIJDER L., 1996. Modelling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecological Modelling 92 : 779-88*.
- UNESCO. 1973. International classification and mapping of vegetation. *Ecological conservation n°:6, Unesco, Paris*. 93 pp.
- VALENTIN C., BRESSON L.M., 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma 55 :225-245*.
- VLAAR J.C.J. (ed.), 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. *Rapport d'étude CIEH-UAW, Wageningen, Pays-Bas*. 99p.
- ZOUGMORE R., GUILLOBEZ S., KAMBOU N.F., SON G., 1999. Runoff and sorghum performance as affected by stone line techniques in the semiarid Sahelian zone (*submitted to Soil & Tillage Research*)

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Zougmoré, R.; Zida, Z.; Kambou, F. N. - Réhabilitation des sols dégradés : rôles des amendements dans le succès des techniques de demi-lune et de zaï au Sahel, pp. 536-550, Bulletin du RESEAU EROSION n° 19, 1999.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr