

Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi *

Théodomir RISHIRUMUHIRWA

Iraz, BP 91, Gitega, Burundi.

RÉSUMÉ

Une étude a été menée à la station de Mashitsi (Burundi) pour mettre en évidence la production et le rôle des résidus du bananier dans la gestion du ruissellement et le contrôle de l'érosion.

Concernant la production, les résultats montrent que les rendements en résidus restent faibles sur des sols acides et désaturés (1 à 2,7 t/ha/an de matière sèche selon les densités de plantation). Disposés sous forme de bandes de paillis, ces résidus permettent de couvrir entre 10 et 25 % du sol avec des bandes de 0,5 m, distantes de deux à cinq mètres.

Ces bandes se sont révélées efficaces dans la gestion du ruissellement (2 à 4 %) et dans le contrôle de l'érosion (1,1 à 2,5 t/ha/an contre 40 t/ha/an sur parcelle nue) dès la première année. De plus, l'étude a montré que le paillis complet (10 t/ha/an de matière sèche) améliore les propriétés physiques (perméabilité) et chimiques du sol après trois ans et demi.

Parallèlement, une expérimentation sur la restauration de la fertilité des sols a montré que les rendements du haricot augmentent (de 250 kg à 790 kg/ha) avec différentes doses de fumier (3, 6 et 9 t/ha/an). La courbe de réponse révèle que des doses plus importantes peuvent être envisagées.

Le chaulage seul n'a pas d'effet sur l'accroissement des rendements et ceux obtenus en association avec trois tonnes de fumier ne diffèrent pas significativement quelles que soient les doses appliquées. De plus, les doses supérieures à deux tonnes de chaux semblent avoir un effet dépressif. Dans tous les cas de figure, les rendements restent trop bas et l'opération ne semble pas économiquement justifiée.

Pour tirer profit de ces résultats, il apparaît urgent d'augmenter la production de biomasse dans l'exploitation par le biais de l'intensification de la production des résidus agricoles (du bananier et des autres cultures) avec l'introduction de l'agroforesterie. Les résidus ainsi produits seront utilisés comme paillis et (ou) comme fumier pour la restauration de la fertilité des sols acides, la gestion du ruissellement et le contrôle de l'érosion.

MOTS CLÉS : Burundi — Bananier — Fertilité — Sols ferrallitiques — Sols lessivés — Fumure organique — Paillis — Ruissellement — Érosion.

ABSTRACT

POTENTIALITIES OF THE BANANA TREE IN THE MANAGEMENT AND CONSERVATION OF ACID FERRALITIC SOILS IN BURUNDI

Productivity and effect of banana residues on runoff and erosion had been studied on an acid and leached ferralitic soil at Mashitsi station located in the humid highlands of Burundi. The bananas received very low input (only manure

* Cet article s'inscrit dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, sous la direction du Pr J.-C. VEDY et la codirection de Dr E. ROOSE, de l'Orstom à Montpellier. L'auteur leur témoigne sa reconnaissance pour leur contribution et leurs conseils qui ont guidé la conception et la réalisation de ce travail.

30 kg/banana-tree/year) and suffered of *Cosmopolites sordidus*. Therefore, productivity was very low (1-2.7 t/ha/year of dry matter according to spacing). These residues provided rows of mulch 0.5 m large and spaced 2-5 m. These rows were very efficient in runoff (2-4 %) and erosion control (1.1-2.5 t/ha/year instead of 40.0 t/ha/year on a bared plot) after one year.

It has been pointed out that complete and continuous mulch (10 t/ha/year) increases soil infiltration and improves soil chemical properties after 3.5 years.

Soil fertility improvement by manure and liming had also been studied. Manure increased bean's yields (250 kg to 790 kg/ha with 3 to 9 t/ha/year of manure) but liming seemed not to be efficient and to have a depressive effect at over 2 t/ha. On the other hand, farmers cannot afford to apply liming.

According to these results, the author recommends to increase biomass production in the traditional farming system by improving banana productivity (with manure, N-P-K fertilizers and plant protection) and by introducing alley cropping and agroforestry. The important mass (more than 15 t/ha) of residues produced will then be used as mulch (7-10 t/ha) and/or as manure and will improve soil properties, soil fertility and soil conservation.

KEYWORDS : Burundi — Banana-tree — Soil fertility — Ferrallitic and leached soils — Manure — Mulch — Runoff — Erosion.

RESUMEN

POTENCIALIDADES DEL BANANERO EN LA GESTIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS EN BURUNDI

Un estudio fue conducida en la estación de Mashitsi (Burundi) para evidenciar la producción y el papel de los residuos del bananero en la gestión de la arroyada y la lucha contra la erosión.

En lo que se refiere a la producción, los resultados muestran que los rendimientos de residuos permanecen bajos en suelos tan ácidos y desaturados (1-2,7 toneladas de M.S./ha/año según las densidades de plantación). Esos residuos en forma de fajas de mulch permiten cubrir entre 10 y 25 % del suelo con fajas de 0,5 m de ancho y distantes de 2 a 5 m.

Esas fajas se han revelado eficaces en la gestión de la arroyada (2-4 %) y en la lucha contra la erosión (1,1 a 2,5 t/ha/año frente a 40,0 t/ha/año sobre una parcela desnuda) desde el primer año. Además, el estudio ha mostrado que el mulch completo (10 t de M.S./ha/año) mejora las propiedades físicas (permeabilidad) y químicas del suelo después de 3,5 años.

Simultáneamente, una experimentación sobre la restauración de la fertilidad de los suelos ha mostrado que los rendimientos de la judía aumentan (250 kg a 790 kg/ha) con diferentes cantidades de estiércol (3, 6 y 9 t/ha/año). La curva de respuesta revela que cantidades más importantes pueden ser consideradas.

La enmienda caliza sola no tiene ningún efecto sobre el crecimiento de los rendimientos y los obtenidos en asociación con 3 toneladas de estiércol no difieren significativamente cualesquiera que sean las cantidades aplicadas. Además, las cantidades superiores a 2 toneladas de cal parecen tener un efecto nocivo. En todos los casos, los rendimientos permanecen demasiado bajos y la operación no parece justificada desde un punto económico.

Para sacar provecho de esos resultados, parece urgente aumentar la producción de la biomasa en la explotación a través de la intensificación de la producción de los residuos agrícolas (del bananero y de los otros cultivos) e introducir la agrosilvicultura. Los residuos así producidos se utilizarán como mulch y/o como estiércol para la restauración de la fertilidad de los suelos ácidos, la gestión de la arroyada y la lucha contra la erosión.

PALABRAS CLAVES : Burundi — Bananero — Fertilidad — Suelos ferralíticos — Suelos lixiviados — Abonado orgánico — Mulch — Arroyada — Erosión.

INTRODUCTION

Le Burundi est un pays de montagnes situé au cœur de l'Afrique entre 2° 15' et 4° 30' de latitude sud et 29° et 30° 50' de longitude est. Sa superficie totale est de 27 834 km² (BIDOU *et al.*, 1991) (fig. 1).

La densité de population y est l'une des plus élevées du continent africain (250 à plus de 700 habitants au kilo-

mètre carré) et, avec un taux de croissance de 2,65 % par an, le nombre d'habitants double tous les vingt-cinq ans.

Le problème que ce pays a à résoudre est d'assurer l'autosuffisance alimentaire de la population sur des sols très désaturés, soumis à une érosion hydrique intense, dans le contexte d'une agriculture traditionnelle de subsistance à faibles intrants.

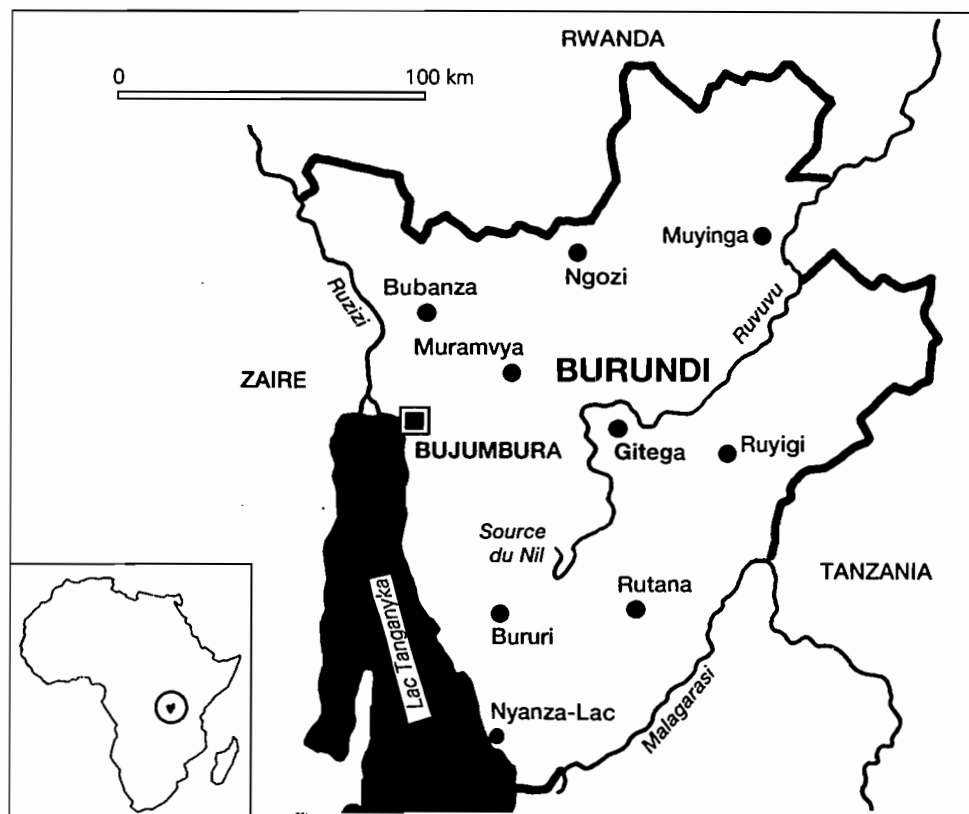


FIG. 1. — Carte de situation.
Situation map.

En effet, les sols burundais se sont formés sous forêts submontagnardes et savanes et sous un climat subtropical humide (pluviosité : 1 000 à 1 600 mm de pluies par an). Ces conditions de température et d'humidité, accompagnées de mouvements d'infiltration importants, ont favorisé l'hydrolyse des minéraux et la lixiviation des bases échangeables par le drainage interne, et ont conduit à la genèse de sols ferrallitiques très désaturés.

La pression démographique, qui atteint aujourd'hui des proportions insoutenables, a conduit au défrichement et à la mise en culture des terres marginales. Les formations végétales naturelles ne représentaient en 1982 (MINAGRI, 1982) que 3 % du territoire national. Les sols, qui étaient déjà désaturés, ont été dès lors soumis à une érosion hydrique intense.

Pour faire face à ce défi, le Burundi doit adapter l'augmentation de la production vivrière au taux de croissance de la population. Cela implique des stratégies visant à l'intensification de l'agriculture par la maîtrise de facteurs de production tels que les intrants (semences, engrais, pesticides...) et le crédit agricole. C'est dans ce cadre que devra s'inscrire la restauration de la fertilité et la gestion

conservatoire du sol, facteur de production rare et fortement dégradé.

L'objet de cet article est de montrer que le bananier, principale culture du Burundi, peut apporter une contribution importante à la résolution de ce problème. Nous nous proposons de mettre en évidence, par trois expérimentations, la part de cette culture dans la production de biomasse au sein de l'exploitation, et l'importance primordiale de la matière organique ainsi produite dans la restauration de la fertilité des sols ferrallitiques désaturés et dans la réduction du ruissellement et de l'érosion.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cadre de l'étude

Les trois essais ont été menés à la station expérimentale de l'Iraz à Mashitsi, qui se trouve à 12 km de Gitega, deuxième ville du pays, située au centre du Burundi.

L'altitude est d'environ 1 650 m et le climat (Aw3 selon Köppen) enregistre des précipitations annuelles de 1 157 mm réparties sur neuf mois (octobre-mai) et une température moyenne annuelle de 18,7 °C (RISHIRUMHIRWA, 1989).

Les indices d'érosion, déterminés sur trois ans, montrent que l'érosivité des pluies est de 460,7 et l'érodibilité du sol de 0,14. Les essais étant faits sur une pente de 8 %, l'indice de pente LS est de 0,78 pour une longueur de 20 m et de 0,98 pour 30 m, qui sont les longueurs retenues pour les parcelles d'érosion (RISHIRUMUHIRWA, 1993).

Les essais ont été installés dans une unité cartographique caractérisée par un sol acide, très désaturé, situé sur un replat d'une pente de 8 %, en aval d'une cuirasse latéritique, clairsemé de quelques petites termitières (moins d'une par hectare) de hauteur inférieure à 0,75 m et de diamètre ne dépassant pas 1,5 m. Cette unité a été classée comme un hygro-xéro-ferralsol typique (classification Ineac) ou Ultic Haplustox (Soil Taxonomy).

Les propriétés de cette unité sont présentées ci-après (description de profil) et dans le tableau I (bulletin analytique).

• Description du profil Mashitsi (RISHIRUMUHIRWA *et al.*, 1989).

A1 0 cm Argileux ; brun-rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4) ; structure massive se subdivisant en polyédrique subangulaire moyenne, faiblement développée ; non collant, non plastique, friable ; pores très nombreux, intersti-

tiels et tubulaires, fins et moyens ; racines assez nombreuses et fines ; transition diffuse et régulière.

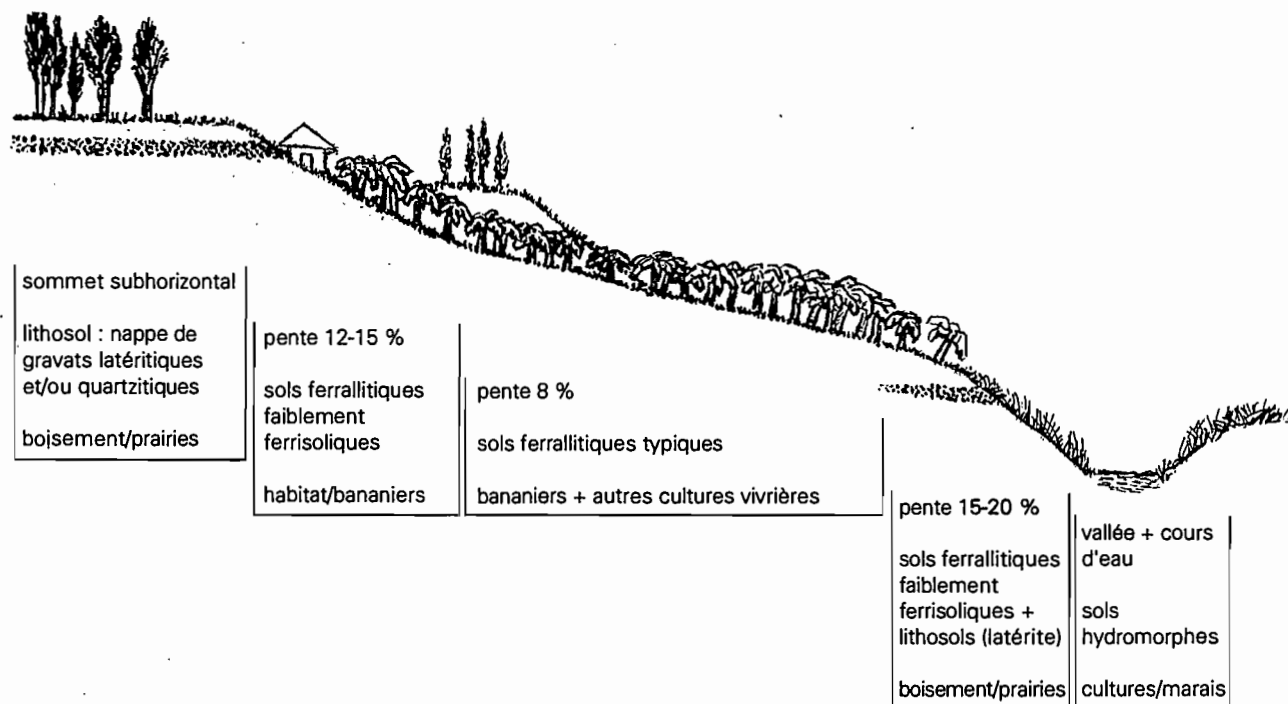
A3 17 cm Argileux ; brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4) ; structure massive ; non collant, non plastique, friable ; pores très nombreux, interstitiels et tubulaires, fins et moyens ; racines assez nombreuses et fines ; transition diffuse et régulière.

B21 40 cm Argileux ; brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4) ; structure massive ; peu collant, peu plastique, friable ; pores nombreux fins, interstitiels et tubulaires ; racines assez nombreuses et fines ; transition graduelle et régulière.

B22 75 cm Argileux, brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/5) ; structure massive se subdivisant en polyédrique subangulaire fine à moyenne, faiblement développée ; collant, plastique, friable ; pores assez nombreux fins et très fins, interstitiels et tubulaires ; racines assez nombreuses et fines ; quelques argillanes fins à peine visibles.

160 cm Limite de la description.

• Toposéquence



• Propriétés agrochimiques des parcelles d'essais

Les parcelles d'essais ont également fait l'objet d'analyses agrochimiques dans les vingt premiers centimètres. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau II.

Protocoles

L'étude porte sur trois essais distincts : un essai sur la production de résidus organiques du bananier en fonction des densités de plantation et le pourcentage de sol qu'ils peuvent couvrir ; un essai sur l'efficacité de ces résidus dans la maîtrise du ruissellement et de l'érosion ; un essai sur la restauration de la très basse fertilité de ces sols.

BANANIER ET PRODUCTION DE BIOMASSE, TAUX DE COUVERTURE DU SOL

L'étude a porté sur la production de biomasse par les bananiers plantés sur les parcelles de l'essai « ruissellement et érosion ». On a tenu compte uniquement des résidus qui restent généralement au champ.

Les feuilles mortes et les stipes sont pesés 2 fois l'an à chaque œilletonnage (octobre et mai) sur dix souches de bananier prises au hasard sur chaque parcelle de 450 m². Par contre, les stipes porteurs de régimes sont pesés à chaque récolte. Les poids frais sont convertis en matière sèche suivant les taux déterminés sur des échantillons de référence (soit 34 % pour les feuilles sèches et 13 % pour les stipes).

TABLEAU I
Bulletin analytique du profil Mashitsi
Agrochemical properties of Mashitsi profile

Épaisseur en cm	Horizon	Refus à 2 mm	Granulométrie (microns) en %								Matière organique			
			0-2	2-20	20-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	C	N	C/N	
0-17	A1	--	50,3	2,1	4,9	7,2	23,0	11,1	1,3	0,1	1,42	0,09	15,8	
17-40	A3	--	54,4	2,5	5,4	7,8	21,5	6,9	1,4	0,1	1,34	0,08	16,8	
40-75	B21	--	56,9	2,3	6,0	7,6	18,1	7,8	1,2	0,1	1,10	0,06	18,3	
75-160	B22	--	62,1	2,5	6,5	8,1	14,2	5,3	1,2	0,1	0,58	0,04	14,5	
pH 1/5 20 °C	Concentr. 1/5 20 °C		Complexe absorbant en méq/100 g										P en ppm (O-D) ²	
			Bases				Valeurs S - T - V ¹					T - V eff.		
H ₂ O	KCl	mmho	Ca	Mg	K	Na	S bas.	CEC	V	Al ³⁺	+ H ⁺	T eff.	V eff.	
4,7	4,2	0,014	0,11	0,08	0,04	0,02	0,25	6,99	4%	1,48	0,10	1,83	86%	15
4,8	4,2	0,011	0,19	0,10	0,04	0,02	0,35	6,19	6%	1,59	0,08	2,02	83%	13
5,0	4,2	0,006	0,07	0,06	0,04	0,02	0,19	5,79	3%	1,34	0,06	1,59	88%	5
5,1	4,8	0,004	0,06	0,04	0,01	0,04	0,16	4,59	3%	0,14	0,01	0,31	50%	15

¹S = somme des bases ; T = total des bases ; V = % S/T. ² Phosphore suivant la méthode de Olsen-Dabin.

TABLEAU II
Propriétés agrochimiques des parcelles des essais fumure organique et chaulage
Agrochemical properties of manure and liming trial plots

	pH	C (%)	N (%)	C/N	Al ³⁺	H ⁺	Ca	Mg	K	Na	S base	S acide	CEC	T eff.	V	V eff.	I. Kam	P (O-D)
(1)	3,9	1,31	0,1	12	1,76	0,18	0,14	0,08	0,06	0,03	0,33	1,95	4,52	2,28	7%	50%	84%	10
(2)	4,2	1,7	0,16	10,6			0,12	0,07	0,05	0,04	0,28		12,41		2%			

(1): Essai restauration et gestion de la fertilité.

(2): Essai production de biomasse, ruissellement et érosion.

Les résidus produits par chaque ligne de bananier perpendiculaire à la pente sont ensuite utilisés comme paillis disposé en bandes dont la largeur a été fixée arbitrairement à 0,5 m. On obtient alors, dans les conditions de l'expérimentation, un paillis de 7 cm d'épaisseur.

La variété étudiée est une banane à cuire connue sous le nom vernaculaire de « Mbwazirume », qui est un triploïde du groupe *Musa accuminata*.

GESTION DU RUISSELLEMENT ET CONTRÔLE DE L'ÉROSION

L'étude a été menée sur des parcelles d'érosion isolées par un muret de 30 cm de hauteur et munies, en aval, d'un système de collecte du ruissellement et des terres érodées constitué de deux fûts de 200 litres. Le premier, appelé partiteur, a cinq ouvertures d'évacuation du trop-plein dont une communique avec le second fût. Les deux fûts portent chacun un couvercle.

Les traitements retenus sont les suivants : une parcelle nue (de Wischmeier ou témoin international) de 100 m² (5 m x 20 m) et quatre autres parcelles de 450 m² (15 m x 30 m). Sur ces dernières, des bananiers ont été plantés aux densités suivantes : 3 m x 2 m (1 667 pieds à l'hectare), 3 m x 3 m (1 000 pieds à l'hectare), 3 m x 3 m + paillis complet et 3 m x 5 m (667 pieds à l'hectare).

Le paillis complet est obtenu par les résidus bananiers de la parcelle auxquels on ajoute des apports extérieurs de *Hyparrhenia*. La composition de ces paillis et résidus est reprise dans le tableau III qui donne également la composition du fumier utilisé dans les essais « restauration de la fertilité ».

Les paramètres étudiés sont le ruissellement et l'érosion selon les différents traitements et l'évolution des propriétés du sol sur parcelle nue et sous paillis complet.

TABLEAU III
Composition des résidus du bananier et de *Hyparrhenia* (% et ‰ de matière sèche)
Banana residues and Hyparrhenia chemical composition (% or ‰ of dry matter)

	Ca ⁺⁺ (‰)	Mg ⁺⁺ (‰)	K ⁺ (‰)	Na ⁺ (‰)	P ₂ O ₅ (‰)	N total (%)
Résidus de bananiers	9,7	3,3	43,6		1,0	0,8
<i>Hyparrhenia</i>	2,0	1,8	10,6		0,8	1,0
Fumier	6,3	3,5	10,7	1,1	2,9	1,8

RESTAURATION ET GESTION DE LA FERTILITÉ

L'étude a porté sur la réponse du haricot à la fumure organique et au chaulage. Pour cela, trois essais ont été mis en place : l'essai « fumure organique seule » (0, 3, 6 et 9 t/ha de fumier), l'essai « fumure organique plus amendement calcaire » (même dose plus 2 t/ha de chaux tous les trois ans) et l'essai « chaulage » (0, 1, 2, 3 et 4 t/ha pour trois ans, en présence d'une dose annuelle de 3 t/ha/an de fumier).

La matière organique est du fumier de ferme dont la composition est donnée dans le tableau III. La chaux est une dolomie dosant respectivement 41,2 et 41,6 % de CaO et MgO.

La variété de haricot utilisée est la variété naine A321 diffusée dans la région.

Le protocole comporte quatre blocs randomisés avec quatre répétitions. Les observations ont porté sur les rendements en graines et sur l'évolution des propriétés chimiques du sol.

Méthodes

Pour les trois essais, les analyses de sols, de la chaux, des pailles et du fumier ont été faites au laboratoire de chimie agricole de l'Isabu qui utilise les méthodes suivantes : Atterberg pour la granulométrie, spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) après percolation à l'acétate d'ammonium 1N à pH 7 pour les bases échangeables,

suspension liquide/sol de 1/5 pour les pH eau et KCl 1N, méthode Kjeldhal pour l'azote, Walkey et Black pour le carbone et colorimétrie au bleu de phosphomolybdate (Olsen-Dabin) pour le phosphore.

La perméabilité *in situ* a été réalisée au perméamètre à doubles anneaux (de la Faculté des sciences agronomiques du Burundi).

Les quantités d'eau ruisselée sont déterminées par une jauge, calibrée en centimètres, dans chaque fût pour des quantités supérieures à 40 litres et par une éprouvette d'un litre, graduée en millilitres, pour des quantités inférieures. À partir des valeurs obtenues, on calcule le ruissellement (coefficient de ruissellement Kr) comme suit : $Kr = (\text{volume d'eau ruisselée} / \text{volume d'eau tombée}) \times 100$ par averse. On en déduit le coefficient de ruissellement annuel moyen (Kram) et le coefficient de ruissellement maximal pour une grosse averse (Kmax) sur une période de douze mois.

Les boues érodées sont pesées sur une balance de terrain (précision ± 50 g), le poids obtenu est traduit en matière sèche à partir d'échantillons de référence séchés à l'étuve et repesés pour déterminer le taux d'humidité avec une balance analytique (précision ± 1 g).

La production de paillis et les rendements des cultures sont déterminés par pesée sur une balance avec une marge

d'erreur de ± 10 g. Le taux de couverture du sol par ces résidus, en pourcentage de la surface totale, est déduit de l'écartement entre les bananiers et de la largeur de chaque bande de paillis.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Bananier et production de biomasse, taux de couverture du sol

Les productions de biomasse par les différents traitements et les taux de couverture du sol sont présentés dans le tableau IV.

Ces résultats montrent une faible production de résidus (1 à 2,7 t/ha/an suivant les traitements). Ils ont été obtenus dans des conditions marginales de fertilité et de pression parasitaire. En effet, les sols sont très pauvres comme en témoignent les analyses. Les bananiers ne reçoivent comme fumure que du fumier à la dose de 30 kg par souche

et par an. Par ailleurs, les bananiers ont subi une forte pression parasitaire de *Cosmopolites sordidus* (charançon du bananier) et de *Erwinia* (une maladie bactérienne).

On peut également considérer que les conditions climatiques de la région ne sont pas idéales ; la température moyenne annuelle est plus basse que l'optimum, que CERIGHELLI (1955) situe au-delà de 20 ° C. Le bananier souffre, en plus, de stress hydrique pendant la saison sèche. Le cycle végétatif de la culture s'en trouve considérablement allongé. En effet, dans les conditions de Mashitsi, il est de 771 jours pour « Mwazirume » et de 799 jours pour « Poyo » (données non encore publiées) alors qu'il varie de 300 à 360 jours en basse altitude (CERIGHELLI, *op. cit.*).

En Côte d'Ivoire, sous des conditions climatiques de température et d'humidité plus favorables et avec de fortes fumures minérales, ROOSE (1977), citant Prevel, rapporte des productions de 17 tonnes de matière sèche sur un cycle de dix mois.

TABLEAU IV
Production de biomasse (kg/ha de matière sèche) et taux de couverture du sol (%)
par les résidus du bananier à la station d'essais érosion à Mashitsi
Biomass production (kg/ha of dry matter) and rate of soil cover (%)
by banana residues on erosion plots at Mashitsi

Traitement	Feuilles coupe 1	Feuilles coupe 2	Stipes	<i>Hypparhenia</i>	Total/an	% couverture
3 m x 3 m + paillis	257	230	1 179	7 933	9 599	100
2 m x 3 m	394	380	1 947	0	2 721	25
3 m x 3 m	257	230	1 179	0	1 666	17
5 m x 3 m	158	153	786	0	1 097	10
Réf. Wischmeir *	0	0	0	0	0	0

* Réf. Wischmeir = parcelle de référence (de Wischmeier) ou parcelle nue.

Au Rwanda, ROOSE et NDAYIZIGIYE (1994) enregistrent des productions en station de 3,3 tonnes de feuilles, de 2 à 6 tonnes de stipes de bananes, de 2 à 5 tonnes de résidus de maïs ou de sorgho et de 0,5 à 2 tonnes de résidus de haricot, d'arachide ou de manioc. Selon les mêmes auteurs, 200 arbres produiraient de 1 à 4 tonnes de feuilles et les haies vives de 3 à 9 tonnes.

Les productions enregistrées à Mashitsi seraient beaucoup plus importantes (10-15 t/ha/an) avec une fumure organique suffisante, des engrais minéraux et une bonne protection phytosanitaire.

Résidus du bananier, gestion du ruissellement et contrôle de l'érosion

GESTION DU RUISSÈLEMENT

Coefficients de ruissellement

Le calcul du ruissellement par classe d'averses, du ruissellement annuel moyen et du ruissellement maximal pour

l'année d'expérimentation (1992) a permis d'établir le tableau V.

Les chiffres montrent que le ruissellement augmente avec les classes de hauteur des averses quels que soient les traitements. Il est très faible pour le paillis complet (< 1 %), et ne dépasse guère 7 % pour les autres traitements. De plus, Kr par averse, Kram et Krmax tendent à augmenter quand l'écartement entre les bananiers augmente.

Kram varie de 2,1 à 4 % pour les différentes bandes de paillis. Il est de 0,7 % pour le paillis complet et de 18 % pour la parcelle nue. Quant à Krmax, il est très élevé sur la parcelle nue (76,5 %) et insignifiant sous paillis complet (0,9 %). Il varie de 5,3 à 18,5 % pour les autres traitements.

Nous avons comparé ces résultats avec ceux obtenus dans d'autres conditions d'expérimentation dans la région et en Afrique de l'Ouest. À Kanyosha (près de Bujum-

TABLEAU V
Coefficients de ruissellement par classe d'averses, annuel moyen (Kram), maximum (Krmax)
et taux de couverture du sol (%)
Soil cover (%), rate of runoff per rain, per year (Kram) and maximum (Krmax)

Kr/classe averses	Traitement				
	3 m x 3 m + p.*	2 m x 3 m	3 m x 3 m	3 m x 5 m	Réf. Wisch.
< 5 mm	0,3	0,5	0,7	0,6	1,3
5-10 mm	0,6	0,8	1,0	0,9	1,5
10-20 mm	0,6	1,6	2,1	3,9	15,7
20-40 mm	0,7	2,5	3,5	6,7	33,6
40-60 mm	0,8	4,6	4,0	5,3	22,3
Krmax	0,9	5,3	10,1	18,5	76,5
Kram	0,7	2,1	2,5	4,0	18,0
Taux de couverture du sol (%)	100	25	16,7	10	0

* p. = paillis permanent de 7 cm d'épaisseur.

tura), sur une pente de 45 %, DUCHAUFOR *et al.* (1991) ont étudié le ruissellement avec différents dispositifs de lutte antiérosive. Ils ont trouvé des ruissellements moyens annuels qui varient de 3,9 à 6,7 % pour des bandes de caféier paillé tous les dix mètres, des haies de *Setaria* et de *Calliandra* et des combinaisons de ces dispositifs. Dans les mêmes conditions, ils observent un ruissellement de 12,3 % en l'absence d'aménagement.

NDAYIZIGIYE (1993) a montré que les haies de *Calliandra*, de *Leucaena* et mixtes réduisent le ruissellement à $\pm 1,8$ % sur une pente de 23 % mais seulement après deux ans. Avec les bandes de résidus de bananier, distantes de deux et cinq mètres, on aboutit au même résultat dès la première année.

En Côte d'Ivoire, avec des précipitations variant de 1 468 à 2 052 mm par an, ROOSE et GODEFROY (1977) ont observé sous bananier et sous forêt dense des ruissellements de 12 et 5,5 %.

Il apparaît donc que le ruissellement est faible (sauf sur la parcelle nue) et que les bandes de paillis des résidus de bananier le réduisent dès la première année de plantation, ce qui présente un avantage vis-à-vis des haies, qui mettent deux ans pour s'établir et produire suffisamment de biomasse pour réduire la circulation de l'eau sur la parcelle.

Modélisation du ruissellement

La modélisation a été faite pour prévoir le comportement du ruissellement quand l'écartement entre les bandes de paillis ou le taux de couverture du sol varient. Elle a consisté à tester des ajustements linéaires, semi-logarithmiques et logarithmiques entre les paramètres considérés. La formulation mathématique a été établie par linéarisation de l'ajustement obtenu.

Ruissellement et écartement entre les bandes de paillis

On modélise ici Kram et Krmax avec les écartements entre les bandes de paillis sans tenir compte de la parcelle nue et de la parcelle paillée.

Les régressions obtenues sont de type linéaire de forme :
Kram = 0,87 + 0,63X et Krmax = 4,37X - 3,27
où X = écartement en mètres (a)

Ces droites, représentées sur la figure 2, ont des coefficients de corrélation r^2 respectivement de 99,8 % et 99,9 %. Ce qui traduit une très bonne corrélation.

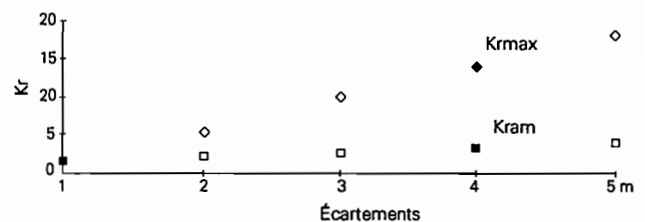


FIG. 2. — Modélisation ruissellement-écartement entre bandes de paillis.

Runoff and distance between mulch rows.

Ruissellement et taux de couverture du sol

Il est certainement plus intéressant de considérer non pas les écartements, mais plutôt les taux de recouvrement du sol. En effet, une même densité de plantation peut avoir une productivité différente en résidus en fonction de facteurs tels que la fertilité, le climat ou les maladies. Cela nous a amené à tester la corrélation ruissellement-taux de couverture du sol.

Le meilleur ajustement obtenu est de type logarithmique avec les équations suivantes pour Kram et Krmax (où

X = % couverture sol), graphiquement représentées sur la figure 3.

$\text{Log}(K_{ram}) = 1,27 - 0,7 \text{ Log}X$
 et $\text{Log}(K_{rmax}) = 2,03 - 0,947 \text{ Log}X$

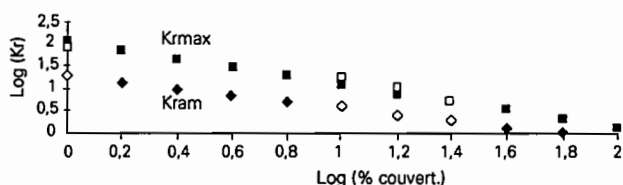


FIG. 3. — Modélisation ruissellement-taux de couverture du sol. Runoff and soil cover rate.

CONTRÔLE DE L'ÉROSION

Pertes en terre et indice cultural

Les pertes en terre et les indices culturaux observés sont présentés dans le tableau VI.

Selon ces résultats, le paillis en bandes est très efficace et réduit considérablement l'érosion. NDAYIZIGIYE (1993) enregistre à Rubona des pertes en terre comparables avec des haies de *Calliandra* et de *Leucaena*, mais après deux ans d'installation.

Les indices culturaux observés varient de 0,03 à 0,06 selon les écartements entre bananiers. Plusieurs auteurs ont montré que les principales cultures vivrières, en Afrique, ont des indices culturaux plus élevés compris entre 0,1 et 0,9, comme le montre le tableau VII.

TABLEAU VI
Érosion (t/ha), indices culturaux et taux de couverture du sol
Soil cover (%), soil losses (t/ha) and soil cover index

Traitement	Érosion (t/ha)	Indice C	Taux de couverture (%)
3 m x 3m + paillis	0,06	0,00	100
2 m x 3m	1,14	0,03	25
3 m x 3m	2,36	0,06	16,7
5 m x 3m	2,47	0,06	10
Réf. Wischmeir	40,52	1,00	0

TABLEAU VII
Indices culturaux de quelques cultures tropicales
Soil cover index of some tropical crops

Type de végétation	Indice C
sol nu	1
forêt dense ou paillis abondant	0,001
savane/prairie en bon état	0,01
savane/prairie brûlée/surpâturée	0,1
maïs/sorgho	0,4-0,9
arachide	0,4-0,8
manioc/igname	0,2-0,8

Type de végétation	Indice C
sol nu	1
culture paillée/pinède	0,001
bananeraie	0,07-0,14
manioc traditionnel	0,10-0,16
patate douce traditionnelle	0,53
association haricot-maïs	0,62

Source : ROOSE, 1977.

Source : Rapport annuel Isabu 1989-1990.

Modélisation de l'érosion

Les ajustements linéaire, semi-logarithmique et logarithmique de la relation érosion-écartement des bandes de paillis ont des coefficients r^2 de 64,4 %, 62,3 % et 73,8 %. Pour le couple érosion-taux de couverture du sol, ce coefficient est de 94,5 % avec l'ajustement logarithmique. La figure 4 et la droite de l'équation suivante donnent la linéarisation de cet ajustement :

$\text{Log}A = 4,76 - 1,35 \text{ log}X$ où A = érosion en kg/ha
 et X = taux de couverture du sol en %

Le bon comportement exponentiel inverse de l'érosion vis-à-vis du taux de couverture du sol est à comparer avec la relation indice cultural-taux de couverture du sol mise en évidence par Wischmeier, qui obéit également à une loi exponentielle inverse. Le même auteur, cité par ROOSE (1994), a montré que l'allure de la courbe obtenue est, par ailleurs, fonction de la hauteur de la canopée.

À partir des équations de modélisation du ruissellement (b) et de l'érosion (c), on a dressé le tableau VIII qui permet de prédire le ruissellement, les pertes en terre et l'indice cultural dans plusieurs cas de figure du taux de couverture du sol.

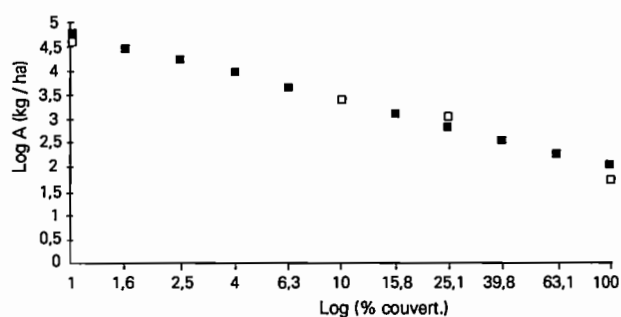


FIG. 4. — Modélisation érosion-taux de couverture du sol.
Soil losses and soil cover rate.

TABLEAU VIII
Couverture du sol, production de résidus, ruissellement, érosion et indice cultural
Soil cover, residues production, runoff, soil losses and soil cover index

Couverture (%)	Résidus (t/ha)	Kram(%)	Krmax (%)	Érosion (t/ha)	Indice C
25	2,4	2,0	5,1	1,14	0,028
35	3,4	1,5	3,7	0,47	0,012
50	4,8	1,2	2,6	0,29	0,007
75	7,2	0,9	1,8	0,17	0,004
100	9,6	0,7	1,4	0,12	0,003

ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS DU SOL SOUS PAILLIS COMPLET ET SOUS PARCELLE DE WISCHMEIER

L'étude de l'évolution des propriétés du sol a été faite sur parcelle de Wischmeier et sous paillis permanent après trois ans et demi de fonctionnement des parcelles d'érosion, en collaboration avec la Faculté d'agronomie du Burundi (NYABUHWANYA, 1993). Une jachère naturelle non perturbée depuis l'installation de l'essai, se trouvant à

proximité immédiate des parcelles d'érosion, a servi de témoin. Elle est supposée représenter les propriétés initiales du sol.

Perméabilité

Des mesures de perméabilité ont été faites en novembre 1991, janvier, avril et juillet 1992 sur les trois parcelles. Les résultats sont donnés dans le tableau IX.

TABLEAU IX
Perméabilité (cm/h) sous paillis complet, jachère à *Eragrostis*, et parcelle nue
Soil infiltration rate (cm/h) under mulched, *Eragrostis fallow* and bared plot

Traitement	Nov. 1991	Jan. 92	Avril 92	Juil. 92	Moyenne	Écart-type
Parcelle + paillis	73,8	84,0	82,2	84,0	81,0	7,2
Jachère naturelle	43,8	37,0	42,0	37,2	40,5	4,7
Réf. Wischmeier	15,0	18,0	16,8	21,0	17,7	4,2

L'analyse statistique de ces résultats a montré des différences très hautement significatives entre les traitements. Par rapport à la jachère naturelle (état initial du sol), la perméabilité a augmenté sous parcelle paillée (elle a doublé) et a diminué très fortement (réduite de moitié) sous parcelle de Wischmeier.

Cela semble lié au fait que les états de surface sur parcelle nue se dégradent au cours du temps suite à la formation de pellicules de battance, très nombreuses à la surface. En revanche, le paillis jouerait un rôle de régula-

teur des débits des précipitations, protégerait la surface contre la battance des gouttes de pluie et favoriserait l'activité des vers de terre et des termites.

Par ailleurs, on pourrait attribuer la meilleure perméabilité du sol sous paillis à l'amélioration de structure grâce à l'augmentation de la teneur en matière organique (5,7 % contre 3 % sous une jachère naturelle) et probablement des complexes argilo-humiques (HÉNIN *et al.*, 1969 ; SOLTNER, 1975).

Ces résultats s'expliquent par l'augmentation de la porosité biologique due à une plus forte activité de la mésofaune (termites) qui serait stimulée par l'apport de paillis. LAL (1975) aboutit aux mêmes conclusions dans une étude sur le rôle du paillis dans les propriétés physiques et chimiques du sol. Il a également montré que la perméabilité du sol diminue dès qu'il est mis sous culture. Dans un sol

du Nigeria, elle passe de 150 cm/h à 90 cm/h sous maïs et à 40 cm/h sur une parcelle non protégée.

Granulométrie

Des analyses granulométriques ont été faites sur des échantillons de sols prélevés dans les vingt premiers centimètres. Les résultats sont présentés dans le tableau X.

TABLEAU X
Évolution de la granulométrie sous l'effet de l'érosion à la station de Mashitsi
Soil losses and soil particles behavior on erosion plots at Mashitsi

Traitement	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Parcelle + paillis	55,2	7,7	37,2
Jachère naturelle	49,3	5,7	44,8
Réf. Wischmeier	37,2	14,4	48,3

La teneur en argile de la parcelle nue, qui a subi la plus forte érosion, a chuté de 12 % par rapport à la jachère naturelle. Cela est à mettre en rapport avec le phénomène de sélectivité des particules pendant le processus d'érosion. En effet, les argiles sont éliminées en priorité. Ce qui se traduit par un appauvrissement absolu en particules argileuses et un enrichissement relatif en limon et en sable.

La teneur en argile de la jachère est inférieure à celle de la parcelle paillée. Cela indique qu'elle a également subi une érosion sélective. L'hypothèse selon laquelle la

jachère représenterait les propriétés initiales du sol est donc à prendre avec réserve. Ses propriétés se dégradent également mais plus lentement que sous culture non paillée totalement et plus lentement encore que sur parcelle nue.

Propriétés chimiques

Le tableau XI présente les résultats des analyses chimiques des vingt premiers centimètres des trois parcelles (Wischmeier, jachère et paillis complet).

TABLEAU XI
Évolution des propriétés chimiques du sol (CEC en méq/100 g, C et N en %) sous paillis complet, jachère et parcelle nue
Soil chemical properties behavior (CEC in meq/100 g, C and N in %) under mulched, fallow and bared plot

Traitement	pH eau	pH KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	CEC	C	N	C/N
Parcelle + paillis	6,0	4,8	0,89	1,00	0,41	0,02	2,34	25,44	3,28	0,56	11,5
Jachère naturelle	4,7	4,2	0,12	0,07	0,05	0,04	0,26	12,41	1,70	0,16	10,6
Réf. Wischmeier	4,2	4,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0,12	6,00	0,82	0,07	13,0

Ces résultats montrent que les propriétés chimiques s'améliorent sous paillis complet malgré des risques de drainage alors qu'elles se dégradent sous parcelle de Wischmeier.

Le pH eau sous paillis augmente par rapport à la jachère naturelle de même que les bases échangeables, la CEC et la matière organique.

On peut attribuer cette amélioration à l'augmentation de la teneur en matière organique (de 3,0 % à 5,8 %) qui contribue à l'accroissement de la capacité d'échange du sol (augmentation de la teneur en humus). Sa minéralisation libère des éléments fertilisants qui améliorent le statut en bases échangeables.

L'apport de paillis complet est d'environ 10 t/ha/an de matière sèche (8 t de *Hypparhenia* + 2 t de résidus de

bananier). Cela représente environ 35 kg de Ca, 21 kg de Mg, 172 kg de K, 8,4 kg de P₂O₅ et 96 kg de N d'apport annuel si on se réfère aux deux sources de paillis, à leur proportion et à leur composition chimique.

La diminution de la teneur en matière organique et des bases échangeables de la parcelle nue par rapport à la jachère naturelle (de 3,0 % à 1,4 %) semble indiquer que le phénomène de sélectivité de l'érosion touche également les résidus organiques fins, les colloïdes et les éléments solubles. Elle emporte, de ce fait, les facteurs de fertilité et contribue ainsi à la chute des rendements.

La sélectivité serait plus importante avec l'érosion en nappe qu'avec l'érosion en rigole (Roose, 1994). Or c'est précisément cette forme d'érosion qui semble la plus importante dans les conditions d'expérimentation. En effet,

le nombre annuel d'averses qui provoquent la formation de rigoles sur les parcelles est réduit à Mashitsi.

LAL (1975) confirme également que le paillis permet de maintenir un taux de matière organique et une capacité d'échange cationique élevés.

Gestion de la fertilité

Cette expérimentation cherchait à mettre en évidence l'importance de la matière organique dans la restauration de la fertilité du sol. Pour des raisons de temps, nous avons choisi comme culture test le haricot du fait de son cycle court et de ses exigences nutritionnelles. Le haricot constitue, en outre, la principale source de protéines pour la population paysanne.

En plus de la matière organique, l'étude s'est intéressée à l'action du chaulage. En effet, l'acidité et la toxicité aluminique constituent des contraintes à la productivité des sols ferrallitiques désaturés d'altitude.

Trois essais ont été mis en place : un essai fumure organique seule ; un essai fumure organique plus 2 t/ha de chaux ; un essai chaulage plus 3 t/ha de fumier.

ESSAI FUMURE ORGANIQUE SEULE

Les résultats obtenus en première et deuxième années, saisons A et B, sont repris dans le tableau XII.

L'analyse de variance effectuée sur les quatre saisons montre que tous les traitements sont différents au seuil de 95 %, sauf les traitements T11 et T12 en quatrième saison.

TABLEAU XII
Réponse du haricot à la fumure organique (kg/ha) sans chaux
Beans production (kg/ha) under manure fertilisation without liming

Traitement	Année 1 saison A	Année 1 saison B	Année 2 saison A	Année 2 saison B	Moyenne
T ₁₁ (témoin : pas de fumier)	0	1	0	0	0
T ₁₂ (3 t/ha de fumier)	427	260	206	103	252
T ₁₃ (6 t/ha de fumier)	594	584	477	359	507
T ₁₄ (9 t/ha de fumier)	834	1043	695	597	792
C V (coefficient de variation) (%)	13,0	11,4	14,0	28,0	21,6
PPDS (plus petite différence significative)	98,7	89,8	71,9	108,8	92,3

ESSAI FUMURE ORGANIQUE EN PRÉSENCE DE 2 T/HA DE CHAUX

Interaction de la chaux et de 3 t/ha de fumier

Les résultats avec différentes doses de matière organique en présence de 2 t/ha de chaux sont donnés dans le tableau XIII.

L'analyse statistique révèle que le témoin absolu et le témoin avec chaux, mais sans fumier, ne diffèrent pas pour l'ensemble des quatre saisons. Les autres traitements diffèrent significativement entre eux au cours des trois premières saisons. Le traitement T23 (3 t/ha de fumier + 2 t/ha de chaux) se rapproche des traitements sans fumier en saison B de la deuxième année.

TABLEAU XIII
Réponse du haricot à la fumure organique (kg/ha) avec 2 t/ha de chaux
Beans production (kg/ha) under manure fertilisation with 2 t/ha of lime

Traitement	Année 1 saison A	Année 1 saison B	Année 2 saison A	Année 2 saison B	Moyenne
T ₂₁ (témoin : pas de fumier)	0	0	0	0	0
T ₂₂ (0 t/ha de fumier + 2 t de chaux)	0	2	0	0	0
T ₂₃ (3 t/ha de fumier + 2 t de chaux)	432	432	270	186	330
T ₂₄ (6 t/ha de fumier + 2 t de chaux)	794	830	507	436	642
T ₂₅ (9 t/ha de fumier + 2 t de chaux)	1031	996	714	863	901
CV (coefficient de variation) (%)	14,0	33,0	22,0	46,0	28,8
PPDS (plus petite différence significative)	99,7	122,0	102,4	194,3	129,5

Les témoins sans fumier (témoin absolu et témoin absolu + 2 t/ha de chaux) donnent des rendements nuls en toutes saisons. La fumure organique est donc l'élément clé de la mise en valeur de ces sols.

Action spécifique de la chaux

La comparaison des rendements obtenus avec les différentes doses de fumier, avec et sans chaux, donne les résultats indiqués dans le tableau XIV.

Les accroissements de rendement dus à l'action de la chaux restent faibles (6 à 14 %) et ne sont pas significativement différents des mêmes traitements sans chaux si l'on considère l'ensemble des quatre saisons. Par ailleurs, les deux tonnes de chaux ajoutées au fumier coûtent 60 000 FBU (soit l'équivalent du revenu annuel moyen par tête d'habitant, qui est de 200 dollars US).

TABLEAU XIV
Action spécifique de 2 t/ha de chaux sur les rendements du haricot (kg/ha) en présence de différentes doses de fumier
Specific effect of 2 t/ha of liming on beans yields (kg/ha) with different doses of manure

Traitement	D * année 1/A	D an. 1/B	D an. 2/A	D an. 2/B	D an. 1 et 2	Moyenne/ saison	D en (%) an. 1 et 2
0 t fumier	0	1	0	0	1	0	-
3 t fumier	5	172	63	83	323	81	14
6 t fumier	200	246	30	77	553	138	12
9 t fumier	193	- 47	9	266	421	105	6

* D = différence de rendement du traitement (n + 1) - n.

De plus, si l'on admet que le kilogramme de haricot se vend 50 FBU, le revenu tiré du surplus de production (16 000 et 28 000 FBU pour deux années) est largement inférieur au coût de l'amendement (60 000 FBU). Le chaulage se heurte donc à trois problèmes majeurs :

- la chaux n'est pas un produit courant sur le marché ;
- son coût est trop élevé (30 000 FBU par tonne) pour le paysan burundais ;
- son application ne semble pas économiquement rentable sur les cultures traditionnelles.

Courbe de réponse

Nous avons établi, avec les moyennes des quatre saisons, des courbes de réponse des rendements à la fumure organique avec ou sans chaux. Les résultats sont présentés dans la figure 5.

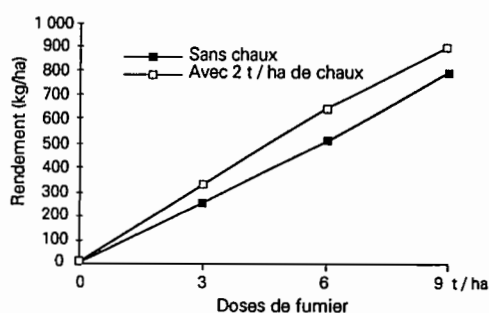


FIG. 5. — Courbe de réponse du haricot au fumier de ferme à Mashitsi.
Yields curve of bean under different doses of manure with or without liming.

On observe que, avec les doses de fumier appliquées, le plateau de la courbe de réponses théorique n'est pas encore atteint. Des doses plus importantes peuvent être envisagées ; elles entraîneraient des accroissements substantiels de rendement.

ESSAI CHAULAGE EN PRÉSENCE DE 3 T/HA DE FUMURE ORGANIQUE

Interaction avec une fumure organique de 3 tonnes de fumier

Les rendements obtenus avec différentes doses de chaux en présence de 3 tonnes de fumier sont rapportés dans le tableau XV.

L'examen de ce tableau montre que, en saison A de la première année, tous les traitements s'équivalent, sauf le témoin absolu. En deuxième saison, le traitement avec fumier mais sans chaux diffère à la fois du témoin absolu et des traitements avec chaux. Au cours des deux saisons suivantes, ce traitement se rapproche à la fois du témoin absolu et des traitements avec chaux.

Sur l'ensemble des quatre saisons, on voit que tous les traitements s'équivalent, sauf le témoin absolu dont les rendements sont nuls. Cela confirme l'importance de la matière organique.

Action spécifique des doses croissantes de chaux

On a cherché à connaître le surplus de rendement imputable aux différentes doses de chaux. Pour cela, on a comparé le témoin avec fumier seul et les traitements avec différentes doses de chaux (tabl. XVI).

TABLEAU XV
Réponse du haricot (kg/ha) à différentes doses de chaux avec 3 t/ha de fumier
Beans production (kg/ha) under different doses of liming with 3 t/ha of manure

Traitement	Année 1 saison A	Année 1 saison B	Année 2 saison A	Année 2 saison B	Moyenne
T ₃₁ (témoin absolu)	0	0	0	0	0
T ₃₂ (témoin + 3 t fumier)	593	266	77	92	257
T ₃₃ (témoin + 1 t chaux + 3 t fumier)	474	487	173	111	311
T ₃₄ (témoin + 2 t chaux + 3 t fumier)	565	634	276	123	400
T ₃₅ (témoin + 3 t chaux + 3 t fumier)	534	625	223	165	387
T ₃₆ (témoin + 4 t chaux + 3 t fumier)	476	509	206	214	351
CV (coefficient de variation) (%)	30	26	52	55	40,8
PPDS (plus petite différence significative)	170,2	185,1	122,7	93,7	142,9

TABLEAU XVI
Action spécifique de différentes doses de chaux sur les rendements du haricot (kg/ha)
Specific effect of different doses of liming on beans yields (kg/ha)

Traitement	D * année 1/A	D an. 1/B	D an. 2/A	D an. 2/B	D an. 1 et 2	Moyenne/ saison	Den (%) an. 1 et 2
0 t chaux	0	0	0	0	0	0	-
1 t chaux	- 119	221	96	19	217	50,4	5
2 t chaux	- 24	348	199	31	570	142,5	14
3 t chaux	- 59	359	149	73	519	129,8	13
4 t chaux	- 117	243	129	122	377	94,3	9

* D = différence de rendement du traitement (n + 1).

On constate d'abord que, en première saison de la première année, les différentes doses de chaux n'ont aucun effet (pas d'accroissement de rendement). Cela semble indiquer que la chaux, appliquée deux semaines avant les semis, n'est pas encore active. Les saisons suivantes, son efficacité reste médiocre (5 à 14 %).

La valeur du surplus de production (11 000 et 28 500 FBU) dû au chaulage est largement inférieure au coût des différentes doses de chaux (30 000 à 120 000 FBU). Là aussi, le chaulage se révèle non rentable.

Courbe de réponse

La courbe de réponse du haricot au chaulage est représentée à la figure 6.

Contrairement à la réponse à l'apport de fumier, elle accuse déjà un plateau aux environs de 2 t/ha de chaux, au-delà duquel les rendements semblent baisser. Les antagonismes ioniques résultant de l'augmentation des teneurs en Ca et Mg pourraient expliquer cette baisse.

Pour l'ensemble des trois essais, on a observé de fortes baisses de rendement et des coefficients de variation élevés, surtout en deuxième année. Cela pourrait s'expliquer par les sévères attaques d'antracnose et par les mauvaises conditions climatiques.

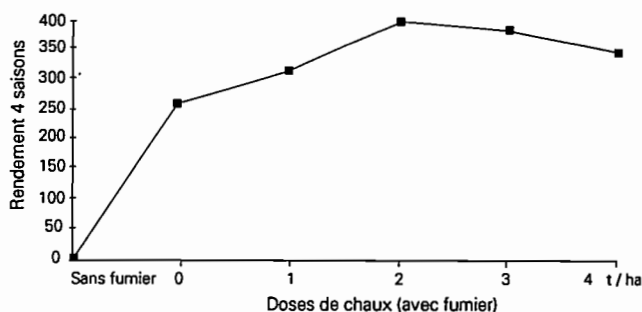


FIG. 6. — Courbe de réponse du haricot au chaulage à Mashitsi.
Yields curve of bean under different doses of liming with 3 t/ha of manure.

Évolution des propriétés du sol

Un mois après l'application des amendements, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XVII.

On observe que le chaulage augmente à la fois le pH et les teneurs en Ca et Mg. Il diminue les teneurs en aluminium et hydrogène échangeables. Les bases échangeables et le phosphore restent en basses concentrations dans tous les traitements mais semblent augmenter légèrement avec les doses de matière organique.

On peut conclure de ces trois essais que les sols ferrallitiques désaturés sont tellement pauvres et carencés en plusieurs éléments que le témoin absolu donne des rendements nuls. L'apport de matière organique induit des accroissements de rendement importants et les doses étudiées sont encore largement en dessous de l'optimum technique. Pour le chaulage, la dose optimale semble se situer autour de 2 t/ha. Mais son application est limitée par la faible capacité d'investissement du paysan et l'inopportunité économique de l'opération.

TABLEAU XVII
Fumure organique, chaulage et évolution des propriétés du sol
Manure, liming and soil properties behavior

Traitement	pH	C (%)	N (%)	C/N	Al ³⁺	H ⁺	Ca	Mg	K	Na	S base	S acide	CEC	T eff.	V (%)	V eff. (%)	I Kam (%)	P (ppm O-D)	
					méq/100 g														
T ₁₁	3,9	1,31	0,1	12	1,76	0,18	0,14	0,08	0,06	0,03	0,33	1,95	4,52	2,28	7	50	84	10	
T ₁₂	4,1	1,50	0,12	13,1	1,75	0,21	0,26	0,18	0,15	0,02	0,61	1,96	4,68	2,57	13	55	68	11	
T ₁₃	4,4	1,69	0,13	13,5	1,23	0,22	0,50	0,35	0,31	0,04	1,20	1,45	4,96	2,65	24	53	46	35	
T ₁₄	4,4	1,68	0,12	14,0	1,11	0,19	0,59	0,48	0,38	0,02	1,47	1,30	4,69	2,77	31	59	40	32	
T ₂₂	4,9	1,37	0,10	13,7	0,69	0,11	0,88	0,92	0,14	0,02	1,96	0,80	3,76	2,76	52	73	24	18	
T ₂₃	5,4	1,31	0,11	12,8	0,28	0,14	1,20	1,22	0,18	0,04	2,64	0,42	4,02	3,06	66	76	9	16	
T ₂₄	5,2	1,39	1,11	12,6	0,19	0,10	1,37	1,42	0,26	0,08	3,13	0,29	4,45	3,42	70	77	6	29	
T ₂₅	5,2	1,29	0,10	12,9	0,24	0,12	1,14	1,22	0,23	0,04	2,63	0,36	4,58	2,99	57	65	8	27	

Ces conclusions semblent confirmées par d'autres résultats de recherches sur la fertilité au Burundi. Le programme Engrais de la FAO a mené une série d'essais et de démonstrations sur l'efficacité des engrais minéraux dans 47 des 78 communes que comptait le pays entre 1972 et 1982. Il a proposé des formules NPK à l'hectare pour différentes cultures vivrières sur la base de l'accroissement de la production et des revenus des agriculteurs. Les doses proposées sont faibles et se veulent adaptées aux conditions des systèmes culturaux traditionnels. Le programme ne fait aucune recommandation sur le chaulage.

L'Isabu a mis en place en 1982 un programme de recherche sur la fertilité pour étudier la mise en valeur des ressources naturelles à des fins agricoles (phosphates, carbonates et tourbes). Dans le cadre de ce programme, plusieurs études ont été menées dès 1985 sur l'effet du chaulage, de la matière organique et des engrais NPK.

Les résultats montrent que le chaulage sans apport de matière organique et d'engrais minéraux (SHEHATA, 1984) a très peu d'effet sur les rendements.

En revanche, le rôle primordial de la matière organique dans la restauration et le maintien de la fertilité des sols ferrallitiques lessivés d'altitude semble bien établi.

Les tubercules, notamment la pomme de terre et le manioc, se montrent plus intéressants que les légumineuses et les céréales et semblent mieux rentabiliser l'investissement en intrants agricoles (RUFYIKIRI, 1993 ; SIMBANANIYE, 1994).

CONCLUSION

Au terme de cette étude, il apparaît que les résidus du bananier peuvent jouer un rôle capital dans la gestion du ruissellement et dans le contrôle de l'érosion lorsqu'ils sont utilisés comme paillis, lequel contribue à l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol pour autant que l'on parvienne à couvrir entièrement le sol.

Si les effets bénéfiques des résidus sont clairement établis et confirmés par d'autres auteurs, leur production en quantité suffisante reste, néanmoins, un problème majeur. Plusieurs solutions ont été proposées, notamment les plan-

tes de couverture, les haies vives, l'introduction des arbres dans l'exploitation, etc. La solution est certainement de combiner plusieurs techniques.

À cet égard, l'intensification de la production bananière et des autres cultures vivrières, notamment les tubercules, par une bonne fumure organique (déjà appliquée par les paysans), un bon contrôle phytosanitaire et le recours aux engrais minéraux NPK, l'introduction d'arbres et de haies vives contribueraient à accroître non seulement la production alimentaire mais aussi celle des résidus, pouvant atteindre 15 tha/an, utilisables comme paillis, fourrage et (ou) fumier.

Une telle production assurerait un paillis complet de 7 cm d'épaisseur (10 tonnes). Le ruissellement et l'érosion seraient réduits à moins de 1 % et 100 kg/ha/an de terre. Les propriétés physiques et chimiques s'en trouveraient fortement améliorées.

L'excédent de production remplirait les autres missions des résidus (paillage du caféier, compostage, fourrage). Lorsqu'on n'atteint pas ces productions ou si les résidus

sont prioritairement affectés à d'autres fins (fourrage), on peut opter pour une répartition raisonnée entre leurs différentes utilisations possibles (cf. tabl. VIII).

Cette approche permettra de concilier l'accroissement de la production agricole et l'amélioration des revenus des agriculteurs et se traduira par une bonne restauration de la fertilité des sols, une bonne gestion du ruissellement et un contrôle efficace de l'érosion.

Nos conclusions intéressent non seulement le Burundi mais également les régions des hauts plateaux de l'Afrique de l'Est (Rwanda, Ouganda, Tanzanie, Kenya) qui jouissent de climats semblables et pratiquent des systèmes culturels à base de bananier. Elles intéressent, en outre, les régions à climat équatorial où le bananier est exploité comme culture d'exportation. En effet, la fertilité des sols développés sous un tel climat est très dépendante de la matière organique.

Les résidus du bananier, produits en abondance dans ces exploitations industrielles, peuvent contribuer avantageusement à gérer la fertilité des sols et à en assurer la conservation.

BIBLIOGRAPHIE

- BIDOU (J.-E.) *et al.*, 1991 — *Géographie du Burundi*. Paris, Hatier.
- CERIGHELLI (R.), 1955 — *Cultures tropicales. T. I. Plantes vivrières*. Paris, Éd. Librairie J. -B. Ballière : 485-618.
- DUCHAUFOUR (H.), BIZIMANA (M.) *et al.*, 1991 — *Rapport annuel Isabu 1989-1990. Érosion*. Bujumbura, Isabu, Département des études du milieu et des systèmes de production (programme Agroforesterie, sylviculture et érosion).
- GOURDIN (J.) *et al.*, 1988 — *Répertoire analytique au Burundi. Analyses des végétaux, d'eaux, d'aliments, de composts, de calcaires, etc.* Bujumbura, Isabu, Publ. n° 128.
- FAO, 1980 — *Programme engrais et des intrants connexes (phases I et II) au Burundi. Conclusions et recommandations du projet*. Rome, FAO.
- HÉNIN (S.), MONNIER (E.), GRAS (R.), 1969 — *Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Paris, Masson, 332 p.
- LAL (R.), 1975 — *Role of mulch techniques in tropical soil and water management*. Ibadan, IITA, Technical Bulletin, 38 p.
- MINAGRI, 1982 — *Séminaire national des Eaux et Forêts*.
- NDAYIZIGIYE (F.), 1993 — Effets des haies arbustives (*Calliandra* et *Leucaena*) sur l'érosion et les rendements des cultures en zone de montagne (Rwanda). *Bull. Réseau Érosion*, 13 : 41-49.
- NYABUHWANYA (J.), 1993 — *Contribution à l'étude de l'influence de l'érosion hydrique sur les propriétés chimiques et physiques du sol dans le Kirimiro central. Étude sur les parcelles expérimentales*. Mémoire, univ. Burundi, Facagro, 52 p.
- NTIBURUMUNSI (F.), 1988 — *Synthèse des essais engrais 1983-1988 sur les cultures vivrières à l'Isabu*. Bujumbura, Isabu, note technique.
- RISHIRUMUHIRWA (T.), 1990 — *Acquis de la recherche sur la fumure organique et minérale au sein de la CEPGL*. Bujumbura, Iraz, Publ. 90/07, 37 p.
- RISHIRUMUHIRWA (T.), 1993 — Contribution des résidus du bananier en conservation de l'eau et du sol. *Bull. Réseau Érosion*, 13 : 63-70.
- RISHIRUMUHIRWA (T.) *et al.*, 1989 — *Étude pédologique de huit sites repères pour les essais engrais au sein de la CEPGL (Moso, Mashitsi, Rubona, Karama, Yangambi, Mulungu, Gandajika, M'Vuazi)*. Bujumbura, Iraz, 78 p.
- ROOSE (E.), 1977 — *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 78, 108 p.
- 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, 420 p.
- ROOSE (E.), GODEFROY (J.), 1977 — Pédologie actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste, sous forêt et sous bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 15 (4) : 409-436.
- ROOSE (E.), NDAYIZIGIYE (F.), 1994 — L'agroforesterie, la fertilisation minérale et la GCES au Rwanda. *Bull. Pédol. FAO*, 70 : 309-325.

- RUFYIKIRI (G.), 1993 — *Gestion des sols acides en région à occupation dense : le Kirimiro au Burundi. Comparaison de quatre systèmes de mise en valeur*. Mémoire, univ. Burundi, Facagro, 54 p.
- SHEHATA (N.), 1984 — *Effet du chaulage et de la fertilisation sur le maïs dans le Mugamba*. Bujumbura, Isabu, Note technique n° 43.
- SIMBANANIYE (A.), 1995 — *Contribution à l'étude de modifications des propriétés pédochimiques des sols acides et alumino-toxiques lessivés d'altitude suite à l'apport d'amendements dolomitiques (cas de Kajondi-Bututsi)*. Mémoire, univ. Burundi, fac. Sciences, 88 p.
- SOLTNER (D.), 1975 — *Les bases de la production végétale*. T. I. Coll. Sciences et techniques agricoles.
- SYS (C.) *et al.*, 1961 — *La cartographie des sols au Congo, ses principes et ses méthodes*. Bruxelles, Ineac, Série technique n° 66, 49 p.
- USDA, 1975 — *Soil Taxonomy. Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington, USDA.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 — *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, US Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 537, 55 p.

Contribution de la bananeraie à la gestion de l'eau et des nutriments sur les sols acides des hauts plateaux du Burundi : 367-383

Photos : E. Roose



Lorsqu'un nouveau ménage s'installe, il implante d'abord sa case, puis sa bananeraie alentour : celle-ci va bénéficier de tous ses soins et recevoir les déchets organiques et les cendres du foyer.



À l'échelle du versant, la bananeraie occupe plus de 20 % de la surface totale, en particulier si la densité de la population est élevée et l'implantation ancienne.



La bananeraie est généralement continue, en cercles de moins en moins denses à mesure qu'on s'éloigne du *rugo* (habitat) ; mais récemment,

s'est développée l'idée d'une culture vivrière en bandes de terrains peu pentus alternant avec des talus protégés par une bande de *Pennisetum* et avec une ligne de bananiers plantés dans des fosses recueillant tous les déchets de production.

La touffe de bananiers profite bien de l'humidité du talus, tandis que la bande enherbée, très vigoureuse, ralentit le ruissellement et piège une grande partie des sédiments. La terrasse cultivée perd progressivement sa pente et le versant se stabilise. Les fosses compostières peuvent aussi servir de drain pour les eaux qui ruissellent sur les chemins d'exploitation.

Dans une bananeraie peu dense au sol nu (1^{er} stade de colonisation), l'érosion peut être importante. Pour éviter les pertes en eau et en terre, on paille le sol ou on le couvre de haricots, de cucurbitacées ou de colocases qui profitent de la fertilisation de la bananeraie.



Photo T. Rishirumukirwa

Traditionnellement on applique le paillage en couronne. Cette méthode arrête peu le ruissellement. Si on le dispose en bandes, les rigoles disparaissent et des terrasses progressives se forment entre les lignes de bananiers.