

AVANTAGES et INCONVENIENTS COMPARATIFS de la
HAIE MIXTE CALLIANDRA/SETARIA et du PAILLAGE
COMME DISPOSITIF ANTIEROSIF
en MILIEU RURAL BURUNDAIS

par **Hervé DUCHAUFOUR***, **Philippe GUIZOL*****
et **Melchior BIZIMANA** (†)**

(*) Ancien Directeur du Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement.

Institut des Sciences Agronomiques du BURUNDI

BP 795 BUJUMBURA BURUNDI

Adresse actuelle: 18, rue Sainte Thérèse 13004 Marseille FRANCE

(**) Ancien Directeur Général de l'Agriculture du Burundi

et la collaboration de:

Régis PELTIER et Claude POUILLOUX ***

(***) Chercheurs au CIRAD-Forêt

Campus de Baillarguet BP 5035

34 032 MONTPELLIER Cédex 01 FRANCE

RESUME

La haie mixte de Calliandra-Setaria disposée en courbe de niveau est une solution de gestion conservatoire de la fertilité des sols de plus en plus utilisée au Burundi.

Qu'en est-il de son efficacité réelle lorsque ce système de protection est mis en place dans des exploitations exiguës occupées prioritairement par des cultures vivrières ou des cultures à haute valeur ajoutée?

L'espace occupé par un tel dispositif apportera t-il la rentabilité recherchée aussi bien par l'agriculteur que par le développeur?

Nos expérimentations en milieu contrôlé, situées dans une des régions les plus peuplées, les plus abruptes et les plus érodibles du Burundi (kaolisol humifère argileux du Mumirwa central), nous permettent de répondre à quelques unes de ces interrogations en opposant les avantages et les inconvénients de ces haies mixtes isohypses.

Les premiers résultats expérimentaux soulignent bien les difficultés de mise en oeuvre de cette technologie qui semblait à première vue rentable et simple pour l'exploitant car productive et pérenne. Cela dépend des conditions de sa réalisation. Si elle s'introduit aisément dans telles exploitations avec tous les bénéfices recherchés, elle deviendra dans telles autres une innovation inopportune (la biomasse produite n'apportant aucun avantage particulier), une contrainte économique à court terme (en cas de fortes concurrences liées à un pédoclimat peu favorable), parfois une exigence trop importante en main d'oeuvre (entretien du dispositif) ou tout simplement un obstacle à la production vivrière familiale lorsqu'il existe une forte pression sur les terres à laquelle s'ajoute une compétition entre la haie et les cultures vivrières.

MOTS-CLES : Haie mixte isohypse antiérosive, *Calliandra calothyrsus*, *Setaria sphacelata*, Terrasse progressive, Paillage, Concurrences/Compétitions nutritionnelles.

ABSTRACT

The mixed hedge of *Calliandra-Setaria* arranged on a contour line is a solution to soil fertility management which is increasingly employed in Burundi.

What becomes of its real efficiency when this protection system is installed in very confined exploitations primarily occupied by food crops or crops with high added value?

Will the space occupied by such a system yield the desired profitability by the farmer as well as the developer?

Our controlled experiments carried out in one of the most densely populated, steep and erosion-prone regions of Burundi (claying organic "kaolisol" in central Mimirwa), allow us to answer some of these queries by opposing advantages and disadvantages of these mixed hedges.

The first results from these experiments demonstrate the difficulties of implementing this technology which seemed initially to be profitable and simple for the farmer because it was productive and perennial. It depends on the conditions in which it is carried out. If it is introduced easily in such exploitations with all the desired profits, it will become in other such exploitations an inappropriate innovation (biomass produced yielding no particular advantages), an economic constraint in the short term (with strong competition linked to an unfavorable pedoclimate), sometimes placing too considerable a demand on the workforce (maintenance of the system) or merely posing an obstacle to familial food production when there is strong pressure on the land to which is added competition between the hedge and food crops.

KEY WORDS : Erosion proof mixed hedge, *Calliandra calothyrsus*, *Setaria sphacelata*, progressive terrace, mulching, nutritional competition.

I. INTRODUCTION

Le problème de la conservation des sols et de la lutte antiérosive se pose de façon aiguë au BURUNDI. De nombreux travaux de recherche ont été effectués afin de comparer l'efficacité des techniques mises en oeuvre pour pallier ce problème crucial. A la lumière des résultats d'une étude sur la hiérarchisation des méthodes conservatoires au Burundi (SIMONART, 1992; SIMONART et al, 1994), une des techniques conservatoires qui semble avoir le plus d'avenir réside dans l'établissement de haies mixtes Calliandra-Setaria, disposées en deux rangées en quinconce, ce qui permet la mise en culture des espaces intercalaires sans que les rendements en soit grandement affectés. En outre, ces aménagements permettent de produire différents types de biomasse dont les utilisations multiples contribuent à diversifier et améliorer le système de production des petites exploitations agricoles (élevage, paillage, tuteurage, bois de feu,...).

Nous avons entrepris depuis 1990 des essais afin de tester ce dispositif. Cet article a pour objectif de présenter les résultats obtenus. Afin de mesurer les avantages et les inconvénients éventuels de la méthode, nous les avons comparés avec ceux obtenus par d'autres techniques conservatoires (simple paillage au moyen des résidus provenant du labour) sur des parcelles témoins.

Les parcelles d'essai ont été aménagées selon la méthode WISCHMEIER et SMITH (1960); nous rappelons à ce sujet brièvement les composantes de l'équation proposée par ces auteurs en précisant que les symboles qui y figurent ont été conservés dans cet article:

$$E = R \times K \times SL \times C \times P$$

E : Pertes en terre en E_{USA} exprimées en tonnes par ha d'une parcelle expérimentale durant une année.

R : Indice d'érosivité des pluies en R_{USA} . Il correspond à l'énergie cinétique des pluies que multiplie I_{30} (intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en mm/h).

K : Facteur de sensibilité du sol à l'érosion en K_{USA} . Il est fonction des propriétés intrinsèques du sol notamment des matières organiques, de la texture, de la perméabilité et de la structure de l'horizon de surface. Il s'échelonne de 0,7 pour les sols les plus fragiles (les limons silteux) à 0,001 pour les sols les plus stables.

SL : Facteur topographique avec S traduisant l'angle d'inclinaison de la pente (en %) et L, la longueur de pente en pieds (1m = 3,2809 pieds).

C : Couvert végétal. Il inclut le niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. Il correspond au rapport entre les pertes en terre de la parcelle cultivée et celles de la parcelle nue standard de WISCHMEIER.

P : Mesures de protection: couverture vivante, mulch ou ouvrages mécaniques. Il correspond au rapport entre les pertes en terre d'un champ de culture aménagé et celles d'une parcelle voisine de même culture cultivée en traditionnel.

L'étude pour déterminer le facteur K sur sol nu et l'indice R d'érosivité des pluies a été menée simultanément avec l'essai.

II. METHODOLOGIE

Caractéristique du site

- Situation régionale: station expérimentale de Rushubi 2, commune de Rushubi-Isale, Mumirwa central (Burundi).

- Altitude: 1 650 m
- Pluviosité annuelle moyenne (P_{am}): 1590 mm; agressivité annuelle moyenne (R_{USA}): 526
- Indice climatique: . 8 mois pluvieux ($P > 100\text{mm}$) séparés en deux saisons (A = octobre à janvier et B = février à mai)
 - . 2 mois intermédiaires: juin et septembre
 - . 2 mois secs ($P < 50\text{mm}$): juillet et août
- Température moyenne annuelle: 16°C
- Pente expérimentale: 26-28 % (pente moyenne régionale cultivée = 36 %)
- Sol: ferralsol humifère argileux (65 à 72 % d'argile de type kaolinite) à horizon A épais (35 cm) développé sur schiste micacé (annexe 1)
- Exposition Est (exposé aux vents et pluies dominants)

Caractéristiques des essais

N° Parcelle	Surface (m ²)	Pente (%)	Traitement anti-érosif	Couverture végétale
Parcelle 15	200 (10 x 20)	28	Buttes continues isohypses (manioc) + 2 haies de <i>Setaria</i> - <i>Calliandra</i> distantes de 9 m (*).	- Manioc var. Criolinha (nov. 90 à juin 92) - Maïs var. Isega (sept 92 à fév. 93) - Haricot var. Flor de Mayo (mars à juin 93) - Jachère (juillet 93 à février 94) - Haricot var. Flor de Mayo (mars à juin 93)
Parcelle 16	200 (10 x 20)	27	Buttes continues isohypses (manioc) + paillage léger de toute la parcelle avec déchets de labour	Idem
Parcelle 17	200 (10 x 20)	26	Buttes continues isohypses (manioc) + paillage de déchets de labour en 2 bandes de 2 m de large et distantes de 8 m.	Idem
Parcelle 18 (Parcelle Wischmeier)	100 (10 x 10)	28	Aucun. Constamment nue	Aucun. Renivellement au râteau après chaque apparition de rigoles

(*) Haies vives constituées de 2 lignes de *Setaria sphacelata* à écartement de 30 x 30 cm, installées en quinconce à 30 cm en aval d'une double ligne de *Calliandra calothyrsus*. Le *Calliandra* est planté avec des écartements de 50 x 50 cm en quinconce. Les 2 haies sont larges de 1 m et distantes de 9 m.
Date de plantation: . *Setaria*: 22/10/1990 puis regarnissage des souches mortes le 15/09/92
. *Calliandra*: 13/11/1990

Application d'une fumure organique de redressement en octobre 1990 de 110 t/ha de fumier bovin sur les trois parcelles expérimentales cultivées (parcelles 15, 16 et 17).

Dans la parcelle 15, les haies de *Calliandra* et de *Setaria* sont régulièrement taillées et la biomasse foliaire récoltée est utilisée comme paillis sur la parcelle même (feuilles de *Calliandra* en aval de la haie, feuilles de *Setaria* en amont). Les tiges de *Calliandra* sont comptées, mesurées (diamètre et longueur) et exportées en dehors de la parcelle.

La parcelle 16 est paillée de façon uniforme sur toute sa surface au moment de la plantation du manioc avec des déchets de labour (adventices desséchées et récupérées sur place). L'épaisseur initiale du paillis est de 1 cm (environ 4 à 5 tonnes/ha de matière verte).

La parcelle 17 est paillée de ces mêmes déchets répartis sur 2 bandes larges de 2 m chacune et distantes de 8 m. La quantité totale de paillis utilisée sur les 2 bandes est égale à celle étalée sur la parcelle précédente.

L'expérimentation est effectuée sur une période de quatre années en suivant la rotation manioc-maïs-haricot-jachère-haricot. Le manioc a été planté sur billons isohypses. Le paillis

des parcelles 16 et 17 a été appliqué au moment de la plantation du manioc (novembre 90) et n'a pas été renouvelé pendant tout son cycle végétatif. Les chaumes issues de la récolte de maïs en février 93 ont été étalés équitablement sur l'ensemble des parcelles une semaine avant les semis du haricot (mars 93) puis enfouis lors du labour.

Pour chacune des parcelles, nous avons mesuré:

- les pertes en terre et le ruissellement occasionnés par chaque pluie des trois premières années uniquement, de septembre 90 à juin 93;
- les quantités de biomasse (feuilles et tiges séparément) produites par les haies et les rendements culturels durant les quatre années de l'essai;
- l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol de la parcelle aménagée de haies vives.

Les pertes en terre pour la détermination du facteur K de sensibilité du sol ont été mesurées sur la parcelle 18 maintenue constamment nue durant toute la période de l'essai.

Quant à la détermination de l'indice R d'agressivité des pluies, il a été réalisé sur pluviogrammes et correspond à une sommation de l'énergie de chacune des tranches de pluie supérieure à 5 mm. Cet indice représente l'énergie cinétique de chaque averse multipliée par l'intensité maximale en 30 minutes (I_{30} exprimée en mm/h). Il tient compte de l'énergie, de l'intensité de pointe et de la durée des pluies. Les résultats présentés sont ceux des trois premières années de l'essai.

III. RESULTATS

Détermination des facteurs R et K

Pluviosité et agressivité des pluies (indice R)

L'agressivité annuelle moyenne enregistrée sur la station de Rushubi 2 ($R = 526$) est moyennement élevée comparativement aux indices de la frange côtière du sud de l'Afrique de l'Ouest où ils peuvent dépasser 300 en 24 heures et atteindre 2 000 dans l'année entre Abidjan et Conakry (ROOSE, 1977). Cela n'exclut pas l'enregistrement d'agressivités relativement fortes lors des pluies à fréquence quinquennale ($R_J = 70-90$), tel fut le cas de la pluie du 15 novembre 1992 ($R_J = 68$).

Tableau 1: Pluviosité (P_m en mm) et agressivité (R_m) mensuelles de la station de Rushubi 2 de septembre 1990 à août 1993

		Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	TOTAL
1990	P_m (mm)	100,1	81,4	226,1	99,1	122,4	186,1	145,0	326,5	226,9	74,6	6,7	0	1596,6
1991	R_m (*)	16,8	18,7	178,2	22,9	31,8	60,3	33,8	112,5	67,2	26,6	0	0	568,6
1991	P_m (mm)	60,4	166,8	161,7	132,2	183,7	108,2	123,1	243,5	144,2	34,2	4,6	0	1362,6
1992	R_m (*)	13,2	47,2	91,6	22,2	59,8	31,8	20,9	75,3	42,5	0	0	0	404,5
1992	P_m (mm)	101,3	146,4	168,0	181,0	144,8	157,0	276,8	124,3	188,2	72,0	5,6	4,0	1569,4
1993	R_m (*)	45,1	26,4	88,5	51,6	49,1	77,2	93,1	37,6	52,9	12,6	0,7	0,8	535,7

(*) R_m : Agressivité mensuelle calculée sur les épisodes pluvieux > 5 mm

Les pluviosités et agressivités annuelles des trois premières années sont légèrement supérieures à la moyenne de la station. Mars et avril auront été les mois les plus pluvieux mais

leur agressivité climatique R reste quasiment identique voire inférieure à celle du mois de novembre réputé pour être un des mois les plus agressifs (exemple de novembre 1990).

Indice d'érodibilité du sol (facteur K)

L'indice d'érodibilité K_{USA} du sol est de 0,10 pour la 3ème année consécutive (tableau 2). Ces résultats confirment ceux obtenus entre 1985 et 1990 sur la première parcelle Wischmeier de Rushubi 2 qui caractérisaient le sol comme assez résistant à l'érosion ($0,10 < K_{USA} < 0,25$ d'après la classification de ROUSSEAU et BOLLINE, 1978). Mais contrairement à la variabilité de K constatée antérieurement, la constance des valeurs des trois dernières années indique une homogénéité structurale de l'horizon organique; l'explication probable serait l'absence de réseau racinaire primitif antérieur à l'installation de la deuxième parcelle Wischmeier (manioc comme précédent cultural).

L'érodibilité du sol argileux de Rushubi (ferralsol humifère: cf. annexe 1) évolue de manière relativement proportionnelle au taux de ruissellement enregistré et à la cinétique de la biodégradation de la matière organique. La teneur en alumine et fer libres joue significativement sur la cohésion structurale des micro-agrégats pour que l'énergie de l'eau ruisselée les détache du sol et les charrie sans leur faire subir de réelle désagrégation; cela se vérifie notamment dans l'analyse chimique des boues qui s'apparente à celle de la parcelle et est fonction des propriétés intrinsèques des agrégats (DUCHAUFOR, 1995).

Tableau 2: Evolution du ruissellement annuel (Kr%) et du coefficient annuel d'érodibilité (K_{USA}) du sol de Rushubi 2

Année	Agressivité (R_{USA})	Pertes en Terre en T/ha (E)	Ruissellement en % (Kr)	Coefficient d'érodibilité (K_{USA})	
85 - 86	470	443	8,4	0,074	
86 - 87	658	1090	14,0	0,13	
87 - 88	562	787	9,3	0,11	Parc. W. N° 1
88 - 89	400	450	7,7	0,083	
89 - 90	644	N.D.	N.D.	N.D.	
90 - 91	569	793	16,4	0,10	
91 - 92	405	559	10,8	0,10	Parc. W. N° 2
92 - 93	536	729	12,9	0,10	
Moyenne	526	693	11,4	0,10	

Remarque: La parcelle Wischmeier N°1 (Parcelle 14) ayant eu son horizon A totalement érodé en quatre années de mesure, une nouvelle parcelle N°2 (Parcelle 18) a été installée en septembre 1990.

Comportement à l'érosion des sols cultivés et des techniques antiérosives expérimentées

Incidence du paillage léger de déchets de labour sur l'érosion hydrique (parcelles 16 et 17)

Sous culture de manioc, l'étalement des déchets de labour (récupération des adventices desséchées issues du premier labour) sur toute la parcelle apporte une meilleure protection que celle de ces mêmes déchets concentrés en bandes de deux mètres de large (tableau 3). Le maximum de perte en matériaux solides a été enregistré en novembre 1990 sur la parcelle 17 (7,05 T/ha). Il est dû à une pluviosité et à une agressivité mensuelles importantes (tableau 1) qui ont provoqué une rupture des buttes non protégées par le paillis par accumulation d'eau

dans les sillons entraînant un écoulement concentré érosif. Au même moment la parcelle 16, légèrement paillée sur l'ensemble de sa surface, n'a connu aucune destruction et que des pertes mineures.

Après le cycle de manioc, les parcelles 16 et 17 n'ont rien conservé de leur paillis initial. Lors des cycles culturaux suivants (maïs et haricot), l'arrière effet de ce paillage n'a eu aucune efficacité sur l'érosion solide puisqu'une perte de 156 T/ha/an a été enregistrée sur la parcelle initialement paillée sur toute la surface alors qu'elle avait présenté auparavant le meilleur résultat (2,9 T/ha durant les deux années du manioc). Quant à la parcelle initialement paillée en bande, la perte de 112 T/ha/an est inférieure à la précédente (tableau 3).

Tableau 3: Perte en terre (E_{USA} en T/ha) et taux de ruissellement (Kr en %) annuels sur culture de manioc soumis à différentes techniques antiérosives (campagnes 1990 à 1992) et sur maïs et haricot (campagne 1992-1993)

Année (R _{USA})			Paillis généralisé (P 16)	Paillis en bande (P 17)
90-91 R = 569	Manioc 1 ^{ère} année	E T/ha Kr %	2,86 1,77	9,2 1,73
91-92 R = 405	Manioc 2 ^{ème} année	E T/ha Kr %	0,03 1,15	0,08 1,0
92-93 R = 536	Maïs (sept. 92 à fév. 93) Haricot (mars à juin 93)	E T/ha Kr %	156 10,3	112,4 8,4

Ces importantes pertes que nous avons enregistrées confirment une nouvelle fois l'intérêt d'une protection du sol dans les conditions de pentes cultivées du Burundi par une couverture végétale, qu'elle soit morte ou vivante. En première année de manioc, alors que la couverture végétale était insuffisamment couvrante, le seul effet du paillage de déchets de labour sur 1 cm d'épaisseur a eu une action efficace sur les pertes et le ruissellement en parvenant à réduire de 54 fois les charges solides (2,9 au lieu de 156 T/ha/an) et de 5,7 fois le ruissellement annuel (1,8 au lieu de 10,3 %) par rapport au maïs et au haricot non paillé qui lui ont succédé avec un indice R annuel sensiblement identique. Il faut aussi signaler l'effet bénéfique du couvert du manioc (facteur C du manioc: $C_{1\text{ère année}} = 0,011$ et $C_{2\text{ème année}} = 0,00001$) qui a profité de la fertilisation organique de redressement de 110 t/ha de fumier bovin.

Comportement de la parcelle pourvue de haies de Calliandra-Setaria (parcelle 15)

Pertes en terre et ruissellement

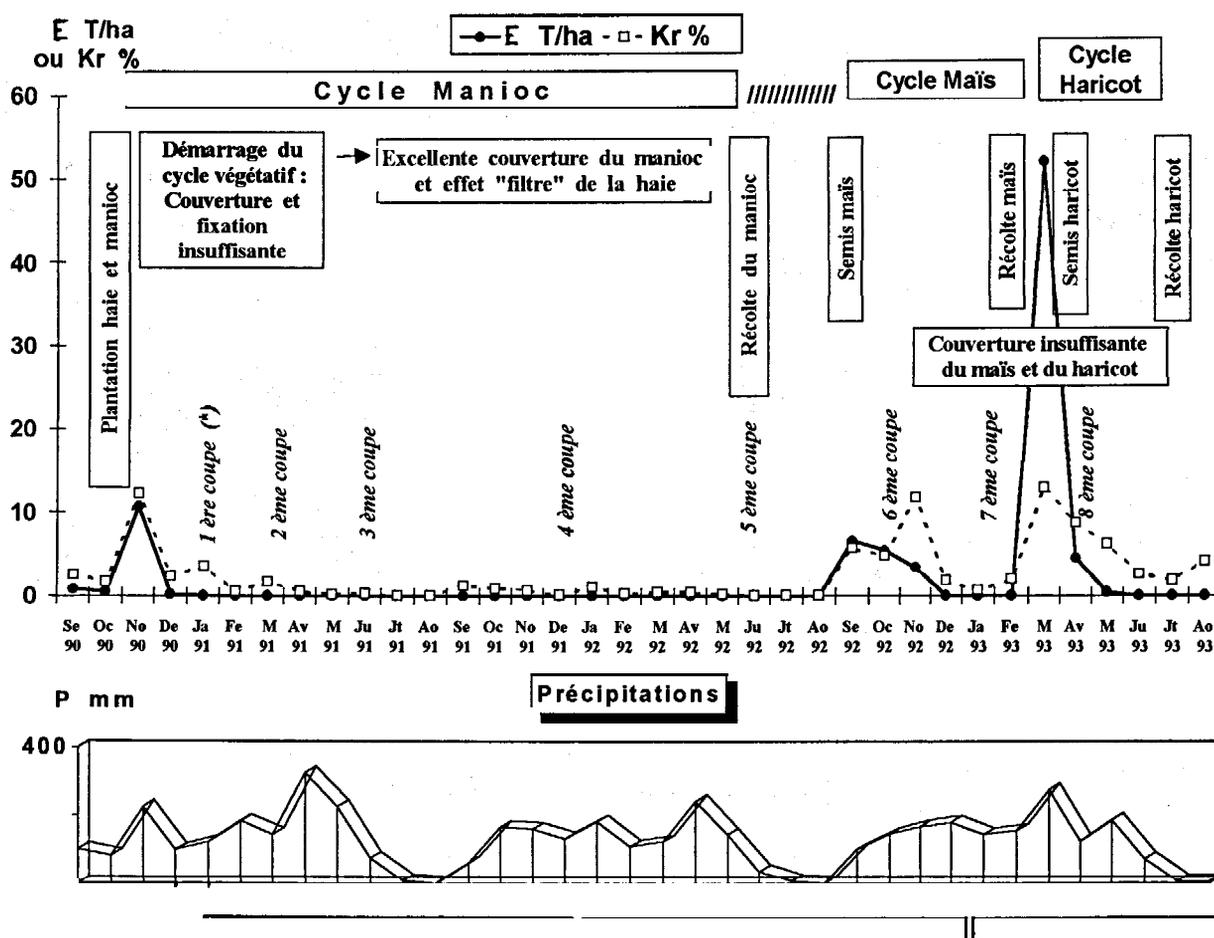
Nos recherches démontrent l'impact positif sur l'érosion de la haie mixte de Calliandra-Setaria qu'il est intéressant de comparer avec les parcelles paillées exposées dans le paragraphe précédent. L'action antiérosive de la haie ne s'est pas manifestée durant la première petite saison des pluies entre septembre et décembre 1990 (tableau 5 et figure 1). D'une part le dispositif n'était pas encore « fermé » deux à trois mois après sa plantation et d'autre part l'étalement des produits de la première coupe n'a eu lieu qu'au début de Janvier 1991. De ce fait, les fortes pluies de novembre 90 ont provoqué à elles-seules les 9/10^{ème} des pertes enregistrées sur les deux années du cycle du manioc alors que les parcelles paillées ont mieux réagi face à cet excès de précipitation. En revanche, le rôle antiérosif de la haie est apparu totalement efficace cinq à six mois après sa plantation. La fermeture totale du dispositif et l'étalement des produits des coupes successives auxquels il faut y ajouter le couvert du manioc apparaissent ensuite suffisants pour filtrer les ruissellements et retenir totalement leurs charges solides jusqu'à la fin du cycle du manioc.

Les résultats de la campagne 92-93, moins encourageants que ceux de la campagne 90-91, montrent que le rôle de micro-barrage perméable de la haie vive n'apparaît pas aussi performant lorsque les cultures peu couvrantes favorisent l'érosion, tel est le cas du maïs et du

Figure 1 et tableau 5: Comportement à l'érosion d'une parcelle équipée de haies vives de *Calliandra-Setaria* (parcelle 15): Distribution chronologique des pertes en terre (E_{USA} en T/ha) et du ruissellement (Kr %) en fonction du rythme des précipitations et des cycles végétatifs de septembre 90 à août 93

		Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Total
1990	E	0,8	0,5	10,8	0,2	0,08 *	0	0 *	0	0	0 *	0	0	12,4
1991	Kr %	2,5	1,7	12,3	2,3	3,6	0,5	1,7	0,5	0,2	0,3	0	0	2,7
1991	E	0	0	0	0 *	0	0	0	0	0	0 *	0	0	0
1992	Kr %	1,2	0,9	0,67	0,15	1,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0	0	0	0,6
1992	E	6,6	5,4	3,4 *	0,01	0 *	0	52,0	4,5 *	0,4	0	0	0	72,3
1993	Kr %	5,7	4,8	11,7	1,8	0,6	1,9	12,9	8,7	6,2	2,6	1,8	4,1	6,4

(*) Période de coupe et d'étalement des produits de la haie



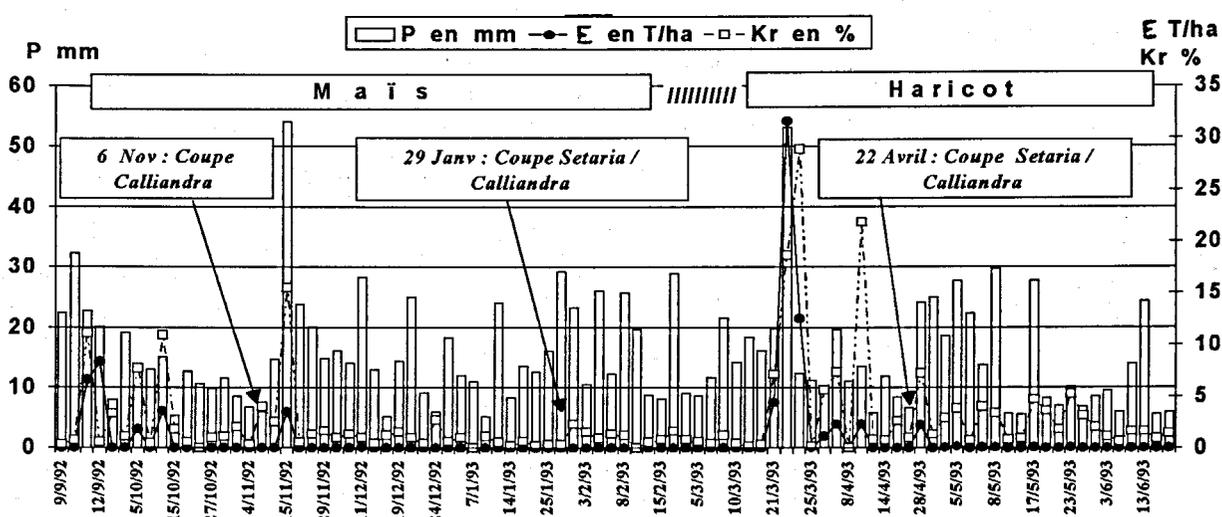
haricot. Les pertes en terre sont de l'ordre de 72 T/ha/an alors qu'elles n'ont été que de 12 T/ha/an en première année de manioc puis nulles en seconde année (figure 1). L'efficacité de la haie n'a été qu'à peine deux fois supérieure à celle des deux parcelles cultivées en maïs et haricot traditionnels (le facteur P moyen est de l'ordre de 0,55). La bande d'arrêt herbacée,

replantée en septembre 1992, n'a pas pu exercer entièrement son rôle de micro-barrage (cf. prochain §).

Notons toutefois la relative efficacité de l'étalement des produits de la coupe qui joue temporairement un rôle de frein sur le transport des matériaux solides.

Nous observons en effet sur la figure 2 une importante baisse des pertes en terre lors de chaque mois pluvieux qui succède à une coupe. Ces baisses se manifestent même au cours de pluies très agressives à l'exemple du 15/11/92 où la hauteur atteint 54 mm pour une agressivité de 68 (pluie parmi les plus fortes du Mumirwa). Cet épisode pluvieux n'a pas occasionné d'importants charriages de terre (3,4 T/ha seulement) malgré le fort coefficient de ruissellement enregistré (15,5%).

Figure 2 : Parcelle équipée de haies vives de Calliandra-Setaria (parcelle 15): Distribution des pertes en terre (E_{USA} en T/ha) et des ruissellements (Kr %) journaliers suivant le rythme des précipitations journalières (P mm) de la campagne 92-93



Remarque: La biomasse des coupes est étalée en bande de 2 mètres de large en aval des haies (zone la plus dégradée par les travaux du sol). Le paillis de chacune des coupes présente une épaisseur variant de 1 à 1,5 cm environ.

A l'inverse, si l'étalement de la coupe dépasse un mois, la rapide biodégradation du mulch lui fait perdre son efficacité qui devient quasiment nulle face aux taux de ruissellement élevés des fortes pluies. L'exemple des deux épisodes pluvieux consécutifs du 22 et 23/3/93, d'une hauteur respective de 53,1 et 12,4 mm pour une agressivité de 26,5 et 4, enregistrent des pertes de 31,6 et 12,5 T/ha en matériaux solides soit plus de 60 % des pertes totales de la campagne 92-93. Ces deux pluies ont entraîné des coefficients de ruissellement élevés, de 19 % le premier jour répartis sur un laps de temps suffisamment bref pour générer de nombreuses rigoles d'érosion et de 29 % le lendemain. Bien qu'elle ait été peu agressive, les pertes de la seconde pluie ont été augmentées par le fait que l'écoulement a emprunté les sites de creusement façonnés par la première. Cela n'a pas été le cas le 10/4/93 (même précipitation et même agressivité que celles du 23/03) où une nouvelle fois le taux de ruissellement a été très élevé (22 %) sans qu'il y ait eu pour autant de lourde perte (2,3 T/ha seulement).

Remarquons enfin que les pluies des mois de septembre et d'octobre ont été beaucoup moins érosives sur la parcelle avec les haies vives que sur les deux autres (respectivement 12 et 44 T/ha). Les taux de ruissellement, beaucoup moins élevés sur la parcelle aménagée (de 7 à 11 %

au lieu de 15 à 25 %) sont les témoins de la relative efficacité de la bande herbacée malgré qu'elle fut encore insuffisamment reconstituée en début de saison pluvieuse. La parcelle n'a pas subi d'importants écoulements concentrés favorisant la formation de rigoles et par là même, de dégâts sérieux.

. Production de biomasse des haies

La dynamique de croissance des produits de la haie est une analyse essentielle de l'essai. La biomasse récoltée joue effectivement plusieurs rôles importants dans le processus de la protection du sol que nous rappelons ci-dessous :

- la quantité de biomasse produite et la densité des rejets sont dépendantes de la fréquence et du mode de coupe de la haie. Lorsqu'elle est utilisée comme mulch, la biomasse foliaire brise l'énergie du ruissellement; son efficacité antiérosive est proportionnelle à sa quantité;
- la décomposition du paillage participe indirectement à la baisse de l'érosion en enrichissant le sol et en stabilisant sa structure;
- la durée de vie de la bande herbacée est un des facteurs décisifs de l'efficacité du micro-barrage perméable. Elle est sujette à l'influence des concurrences lumineuse et nutritionnelle occasionnées par les arbustes et les cultures associées.

Nous allons voir que ces différents cas ont été plus ou moins observés durant les quatre années de l'essai.

□ **Le Setaria** : la croissance et la production de Setaria ont été remarquables lors de la saison des pluies de 90-91. La haie a non seulement bénéficié de la fertilisation organique de redressement (110 T/ha de fumier bovin) mais aussi de l'absence de concurrence du manioc encore trop jeune et peu couvrant.

Tableau 6 : Evolution de la production de biomasse fraîche de *Setaria sphacelata* en T/ha provenant des coupes successives des deux haies vives de la parcelle 15. Campagnes de septembre 90 à août 93

Campagne	N° Coupe	Nombre de mois après la plantation (22/10/90)	Nombre de jours après coupe précédente	Production haie du bas de la parcelle (T/ha)	Production haie du milieu de parcelle (T/ha)	Production annuelle moyenne (T/ha/an) ***
1990 - 1991	1	2,5 (03/01/91)	72	3,8	6,7	26,6 **
	2	4,5 (04/03/91)	59	8,7	12,0	64,0 **
	3	8 (13/06/91)	101	5,5	4,5	18,1 **
1991 - 1992	4	14 (19/12/91)	187	3,9	0,18 *	4,0 *
	5	18,5 (04/06/92)	166	1,75	0,12	2,1
Remplacement de la bande de Setaria par de jeunes souches et plantation du Maïs le 15/09/92						
1992 - 1993	1	4,5 (29/01/93)	136	1,9	1,8	5,0
	2	7 (22/04/93)	83	1,5	0,6	4,6
	3	10 (08/07/93)	77	1,0	0,7	4,3
1993 - 1994	4	17 (15/02/94)	222	0,3	0,8	0,9

(*) En tenant compte de la saison sèche

(**) Rendements élevés liés à la fumure de redressement (110 T/ha de fumier bovin)

(***) Production rapportée à une année pour des haies distantes de 10 m sur une surface d'un hectare (= 1 km linéaire).

Rappel : Plantation des souches en quinconce avec des écartements de 30 cm entre les 2 lignes et de 15 cm sur la même bande. Bandes associées avec le *Calliandra calothyrsus* planté à 30 cm en amont.

La production de la seconde coupe a plus que doublé par rapport à la première (64 T/ha/an au lieu de 26,6) avec des rendements à chaque fois supérieurs sur la haie médiane (tableau 6). La situation se dégrade par la suite une fois que le manioc a pris suffisamment de vigueur en recouvrant totalement la bande herbacée de son ombrage. La production d'une coupe à l'autre chute successivement de 37% à 55% puis 80% pour la haie du bas située en lisière de la parcelle. Quant à la haie médiane qui souffre aussi bien en amont qu'en aval de la concurrence lumineuse, la chute est encore plus spectaculaire puisqu'elle passe à 62% puis 98,5 et 99%. En fin de campagne 91-92, le taux de mortalité des souches de *Setaria* de la haie médiane est de 95%.

La seconde génération de *Setaria* ne bénéficie plus de la fertilité de départ. Sa productivité annuelle moyenne de 5 T/ha lors de la campagne 92-93 puis de 0,9 T/ha (coupe de février 94) est en effet très inférieure aux 64 T/ha mesurées en 90-91. Cette forte différence de production peut expliquer en partie le regain d'érosion observé au cours de la campagne 92-93 (figures 1 et 2). Le micro-barrage perméable de la bande de *Setaria* a été probablement insuffisamment efficace pour retenir les matériaux solides entraînés lors des deux pluies agressives du mois de mars 93. Le résultat des mesures d'érosion de la campagne 93-94 sur jachère en 1ère saison et haricot en 2ème saison de la parcelle 15 confirmera vraisemblablement ce constat.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux mesurés en milieu réel (bassin versant expérimental de Nyarumpongo) où l'on observe un phénomène similaire en fonction de la densité, de la période du cycle des cultures associées à ce type d'aménagement et de la fertilité du milieu (BIZIMANA, 1992).

□ **Le Calliandra:** Les biomasses foliaires mesurées sur *Calliandra* apparaissent beaucoup plus constantes d'une coupe à l'autre que sur *Setaria*. Nous enregistrons en effet des productions moyennes annuelles oscillant entre 2,8 et 3,4 T/ha à l'exception de la quatrième et de la septième coupes qui sont légèrement supérieures (4,2 T/ha).

Tableau 7 : Production des biomasses foliaire et ligneuse (matière verte) de la haie de *Calliandra* (T/ha) de la parcelle 15. Campagnes de septembre 1990 à août 1993.

Campagne	N° Coupe	Mois après plantation (13/11/90)	Nombre de jours après coupe précédente	Poids biomasse foliaire (T/ha)	Production annuelle moyenne (T/ha/an) *	Nombre de tige	Poids biomasse tige (T/ha)	Longueur moyenne des tiges (cm)	Circonf. moyenne (cm)
1990 - 1991	1	5,5 (25/4/91)	163	A: 1,4	3,3	70	1,0	130	1,27
				B: 1,5		77	1,2	128	1,27
1991 - 1992	2	13 (20/12/91)	239	A: 1,8	2,8	72	1,6	155	1,36
				B: 1,9		74	1,9	184	1,49
1992 - 1993	3	24 (6/11/92)	321	A: 2,8 B: 2,4	3,0	108 91	4,4 3,6	227 224	0,8 1,56
	4	27 (29/1/93)	85	A: 0,9 B: 1,1	4,3	ND	ND	ND	ND
	5	29,5 (22/4/93)	83	A: 0,85 B: 0,7	3,4	ND	ND	ND	ND
	6	32 (8/7/93)	77	A: 0,6 B: 0,6	2,8	ND	ND	ND	ND
	7	39 (15/2/94)	222	A: 3,1 B: 2,0	4,2	140 117	4,0 2,2	181,3 176,6	4,2 4,1

(*) Production rapportée à une année pour des haies distantes de 10 m sur une surface d'un hectare (⇒ 1 km linéaire)

A = Haie du bas B = Haie médiane

ND = Non déterminé

La croissance du Calliandra a toujours été homogène et ne semble pas avoir été affectée par l'ombrage et la concurrence des cultures associées (notamment le manioc). La reprise après chaque coupe est donc satisfaisante avec même une tendance à l'augmentation du nombre des tiges. Remarquons que les intervalles de temps les plus grands (222 et 321 jours, tableau 7) ont profité à la production ligneuse sans qu'elle se fasse aux dépens de la production foliaire, de 4,2 et 3,0 T/ha/an, productions qui restent voisines de la moyenne de toutes les coupes (3,4 T/ha/an).

Notons enfin que le Setaria a beaucoup mieux profité de la fertilisation que le Calliandra. Ce constat confirme les observations de terrain en milieu réel où la haie d'herbe profite le plus souvent de la fumure organique des cultures vivrières avec lesquelles elle est associée (SIMONART, 1992). Cette assimilation est favorisée par le fait qu'une haie herbacée bien entretenue retient par son système racinaire dense les matériaux charriés tout en maintenant un état d'humidité relative au niveau de l'horizon organique. Ce profit apparaît être moins profitable aux Calliandra dont le système racinaire est plus profond.

Les rendements culturaux

Les rendements du manioc ont été très élevés compte tenu de la forte dose de fumier épandue en Octobre 1990. Pour des parcelles de fertilité comparable (même dose d'application de fumier), nous constatons que la production de manioc a été supérieure sur la parcelle aménagée avec deux haies (cas 1, figure 9). Cela n'est pas le cas pour le maïs et le haricot qui donnent sur cette même parcelle des rendements de 10 à 15% inférieurs en saison B-93 et de 40 à 50 % en saison B-94.

Tableau 8 et figure 3 : Rendement des cultures de manioc, maïs et haricot en T/ha de chacune des parcelles. Campagnes 1990 à 1994.

N° Parcelle	Surface réelle cultivée	RENDEMENT				TOTAL (T/ha)			
		MANIOC (Sept 90 - Juin 92)		MAIS (Saison A - 93)		HARICOT *			
				Grains *	Chaumes	(Saison B - 93)	(Saison B - 94)		
P 15	180	35,3	(39,2)	2,7 (3,0)	10,3 (11,4)	0,62 (0,69)	0,41 (0,45)		
P 16	200	32,7		3,57	13,2	0,91	0,79		
P 17	200	33,0		3,34	12,3	0,60 **	0,86		

(*) Taux d'humidité du grain de maïs de 12-13%; rendement du haricot en poids sec

(**) Importants dégâts provoqués par les taupes

(...) Rendement rapporté à la surface réelle cultivée

Rappel : - Parcelle 15 = Parcelle aménagée de deux haies
- Parcelles 16 et 17 = Parcelles non aménagées

Tant que les deux systèmes de cultures (haie et vivrier) ne se trouvent pas en phase de compétition nutritionnelle (N,P,K), la production vivrière cultivée en couloir peut s'avérer plus performante que sur parcelle non aménagée (cas 1, figure 3); elle ne présente d'ailleurs aucune diminution notable des productions de part et d'autre de la haie (exemple du manioc de la figure 4). Mais au fur et à mesure que le sol s'épuise en nutriments (cf. prochain §), en particulier après un cycle du manioc cultivé sur terrain acide, la concurrence nutritionnelle (et hydrique) qui se développe entre les deux systèmes racinaires adjacents l'emporte sur les bénéfices des apports nutritifs par atterrissements (cas 2, figure 3).

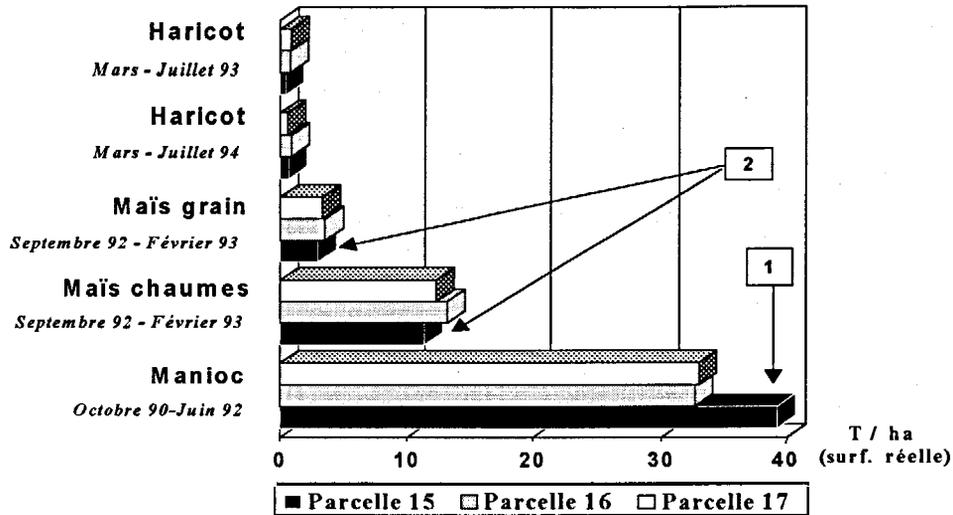


Figure 3

Les productions linéaires des figures 5 & 6 montrent bien à ce propos l'influence négative de la haie centrale sur les deux premières lignes aval de maïs et haricot. La concurrence y est d'autant plus importante et caractéristique que le sol est appauvri; c'est le cas pour le haricot de la saison B-94 (figure 6). Cette observation, identifiée et analysée en détail par nos recherches (KABONEKA et al, 1991;

Fig.4: Manioc (1990-1992)

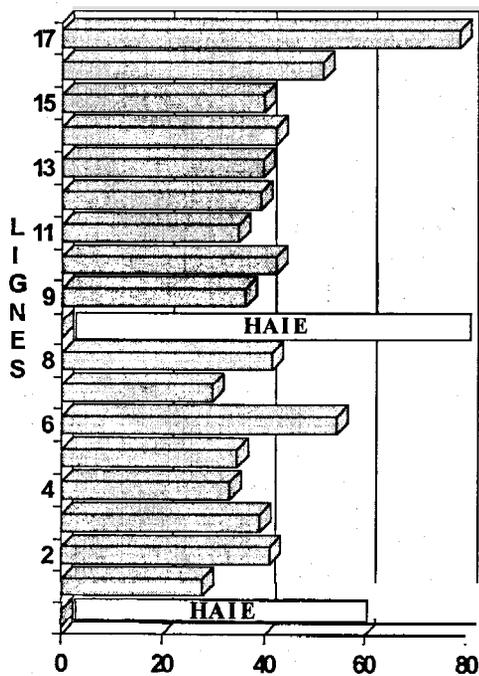
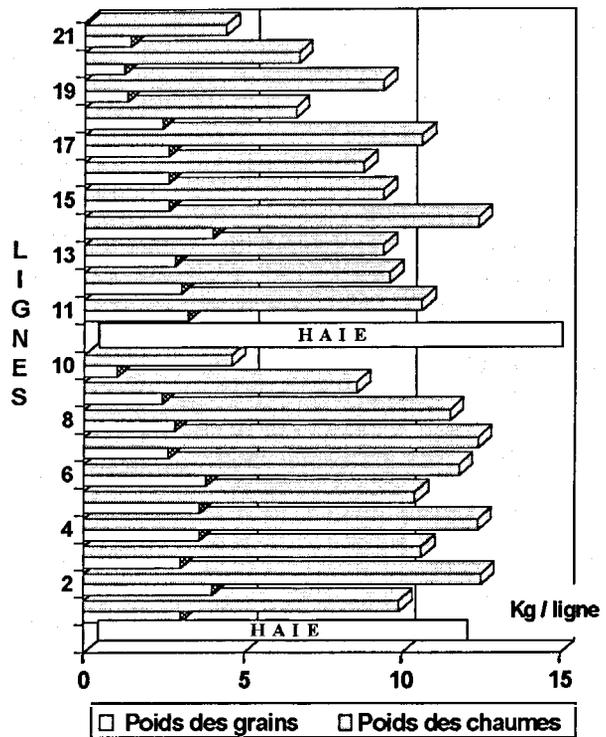


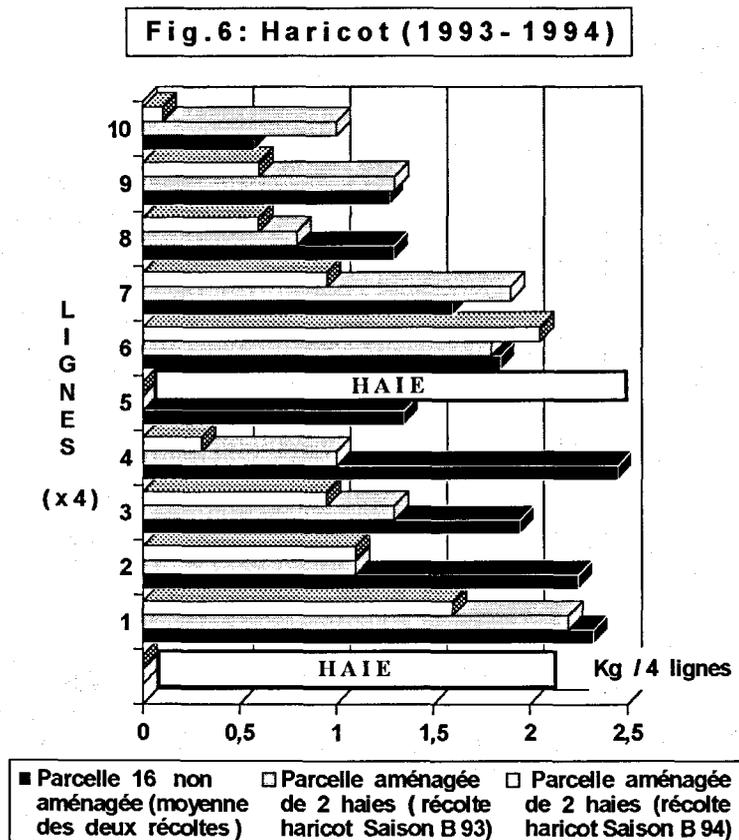
Fig.5: Maïs (1992-1993)



Figures 4, 5 & 6: Distribution des productions du manioc, du maïs (kg / ligne) puis du haricot des saisons B 93 et 94 (poids sec en Kg / 4 lignes) de part et d'autre des haies. Campagnes de 1990 à 1993.

Remarque: Parcelle 17 non représentée car attachée par les taupes

PENNES, 1991) et celles de l'ICRAF (stations de Machakos et Maseno in NAIR, 1993) a démontré qu'il est nécessaire de fertiliser si l'on souhaite réduire les compétitions entre les deux systèmes de culture. Par ailleurs, il est certain que le développement racinaire du Calliandra qui augmente d'année en année, favorise la concurrence hydrique avec les cultures annuelles et qu'il est par conséquent recommandé de pratiquer le cernage de ses racines afin de diminuer l'effet compétitif eau + nutriment.



Après la clôture définitive de l'essai, nous aurons l'occasion de vérifier leur extension et leur densification en ouvrant une tranchée de part et d'autre de la haie.

Cette perte de productivité n'est pas économiquement obligatoirement désavantageuse si on tient compte à la fois de la production ligneuse et foliaire des deux composantes de la haie et du bénéfice à long terme de la conservation du capital sol. La viabilité économique de la haie prendra cependant toute son importance si ses produits contribuent réellement à améliorer l'économie du système d'exploitation (protection de pentes fortes, bois de feu, tuteurs, affouragement, biomasse pour le paillage des caféiers, mulch léger des cultures vivrières).

Incidence de la haie sur l'évolution des propriétés édaphiques

La littérature met en vedette les améliorations qualitatives apportées par un dispositif antiérosif de type biologique (ROOSE, 1986 et 1990; KONIG, 1990; NDAYIZIGIYE, 1990; BIZIMANA et al, 1992; SIMONART et al., 1994). Nous venons de voir précédemment qu'il contribue à réduire l'érosion et dans de bonnes conditions pédologiques à optimiser et diversifier les productions.

Lors de nos écrits antérieurs (DUCHAUFOR et al, 1991; BIZIMANA et al, 1992; BIZIMANA, 1993), nous avons mentionné les effets positifs « théoriques » de la haie mixte Setaria/Calliandra. L'un des plus évidents est celui de la formation progressive de terrasses par sédimentation de terre en amont des haies favorisant l'allongement des parcelles dans le sens des courbes de niveau. En quatre années d'expérimentation (1990-1994), les atterrissements, auxquels s'ajoutent les travaux du sol, ont effectivement contribué à diminuer la pente de 28 à 20% (18,5 % sur la partie supérieure de la haie médiane et 21,3 % sur la partie inférieure) et à constituer un talus de plus de 70 cm de haut.

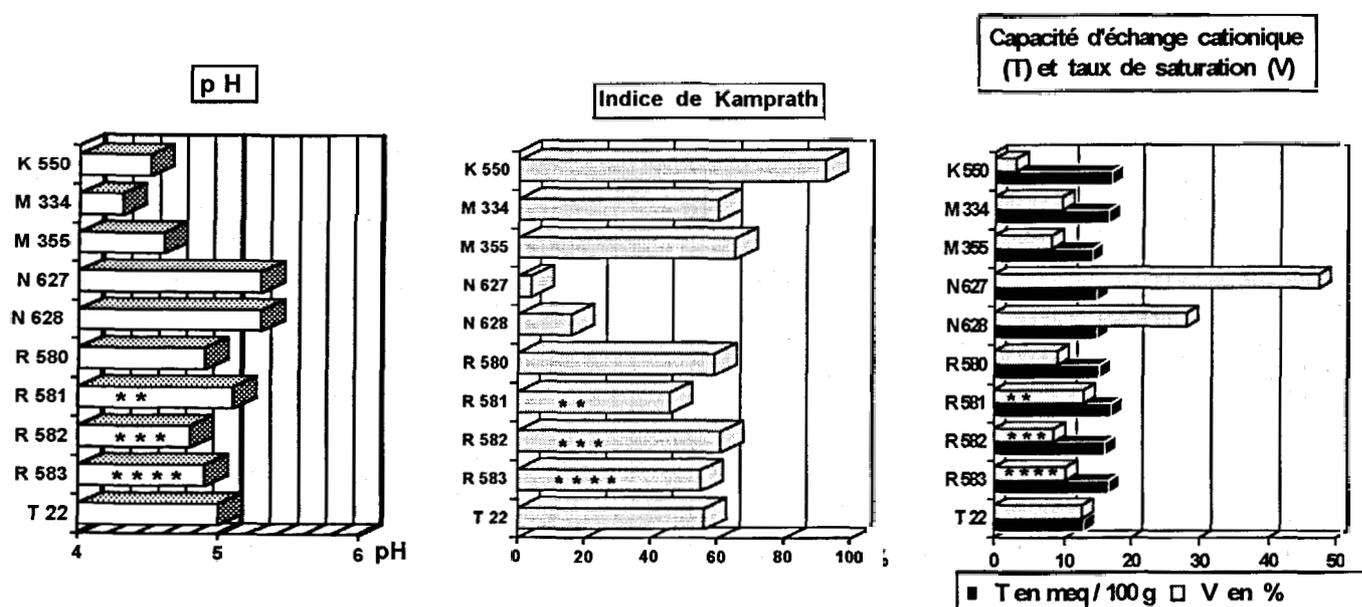
A ce sujet, nous n'avons pas vérifié ce qui est fréquemment indiqué dans la littérature que l'accumulation de terre en amont des haies s'accompagne d'un enrichissement naturel. Les analyses de sols effectuées à différents âges de la haie montrent qu'après trois années de

fonctionnement, les dépôts amont ne sont pas significativement plus riches en nutriments que le matériau d'origine. Ce constat devient encore plus révélateur sachant qu'au démarrage de l'essai, une forte fertilisation à base de fumier bovin (± 110 T/ha) a été appliquée de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle. Trois ans après la fumure, sur une rotation manioc-mais-haricot, la plupart des paramètres chimiques du sol sont revenus à leur teneur initiale quel que soit le niveau de la parcelle. C'est en particulier le cas du potassium, élément réputé

Tableau 9 et figure 7: Comparaison chronologique des analyses de sols de la parcelle 15: échantillons composites ou prélevés à d'emplacements particuliers

N° Labo	Date de prélèvement	Type de l'échantillon (parcelle 15)	pH H ₂ O	N %	C/N	Al ³⁺ meq/100g	Ik. %	CATIONS BASIQUES en meq/100g de terre					P ppm (o-d)	
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S	T		V%
K 550	? / 04 / 90	Composite témoin	4,5	0,29	9,0	3,87	92	0,17	0,04	0,09	0,31	16,83	3,0	58
M 334	03 / 01 / 91	Composite	4,3	0,34	12,0	2,45	60	0,61	0,34	0,46	1,54	16,37	9,43	95
M 355	06 / 03 / 91	Composite	4,6	0,26	11,2	2,15	65	0,36	0,24	0,48	1,12	13,98	8,01	55
N 627	17 / 09 / 91	Haut de parcelle	5,3	0,32	7,5	0,28	4	3,49	2,19	1,22	6,98	14,71	47,5	220
N 628	17 / 09 / 91	Bas de parcelle	5,3	0,31	9,8	0,81	16	2,07	1,26	0,75	4,12	14,71	28,0	193
R 580	12 / 05 / 93	Haut de parcelle	4,9	0,30	8,9	2,24	59	1,01	0,26	0,06	1,33	15,06	8,84	60
R 581	12 / 05 / 93	Amont haie médiane **	5,1	0,36	11,0	1,94	46	1,53	0,59	0,04	2,17	16,98	12,8	140
R 582	12 / 05 / 93	Aval haie médiane ***	4,8	0,33	10,6	2,32	61	0,85	0,42	0,05	1,34	16,03	8,38	115
R 583	12 / 05 / 93	Amont haie du bas ****	4,9	0,35	11,0	2,28	55	1,11	0,48	0,07	1,67	16,52	10,1	125
T 22	17 / 05 / 94	Composite	5,0	0,29	6,2	2,19	56	1,01	0,33	0,24	1,61	12,83	12,5	105

K 550 = Témoin \Rightarrow Prélèvement avant épandage de fumier



NB: Application d'une fumure de redressement le 30-31 Octobre 1990: les analyses N 627 et 628 montrent bien l'excellent arrière-effet de la décomposition du fumier un an après son épandage sur les teneurs en NPK, Ca et Mg de même que sur le pH et l'indice Ik.

pour sa très grande mobilité. D'autres indices témoignent de la baisse de fertilité comme la forte augmentation de l'indice de Kamprath Ik.¹ ou la décroissance du taux de saturation (V%) et du phosphore. Leurs valeurs n'atteignent cependant pas celles du témoin K 550 avant épandage (tableau 9 et figure 7). C'est d'ailleurs encore le cas après la quatrième année cultivée en haricot précédé d'une jachère de courte durée.

Ces résultats suffisamment éloquents démontrent que:

- la haie biologique n'est pas une «barrière de rétention durable» des éléments minéraux mais plutôt une barrière physique;

- l'accumulation des matériaux solides sur trois ans n'a entraîné aucune augmentation des teneurs en fertilisants pour une même quantité de sol. En contre partie, cette accumulation d'horizon de surface accroît le volume de terre, donc la réserve en eau et en nutriment, ce qui devrait permettre a posteriori une plus grande capacité de production végétale;

- la baisse des ces teneurs est homogène sur l'ensemble de la parcelle. Elle est due bien entendu à l'exportation par les cultures mais aussi aux pertes par ruissellement et par lixiviation (drainage latéral au sein de la couche arable). Ce fort lessivage latéral, inhérent au fonctionnement hydrodynamique des sols ferrallitiques, peut contribuer temporairement à une fertilisation de la haie (cas du *Setaria*). Cela est confirmé, à une autre échelle, par les résultats lysimétriques des bassins versants expérimentaux de Cirusha et Nyarumpongo où l'on a enregistré des concentrations non négligeables en potasse, calcium et magnésium dans les eaux de drainage (DUCHAUFOR, 1995). A long terme, ce transfert des fertilisants entraîne l'appauvrissement physico-chimique des pentes fortes (acidification et aluminisation des sols, désaturation de la capacité d'échange) en enrichissant en contrepartie les fonds de thalweg et vallons (DUCHAUFOR et PARTY, 1988). Il semble donc que sur un sol ferrallitique acide même si l'érosion et le ruissellement sont maîtrisés, la productivité continue à décroître. Ces résultats vont tout à fait dans le sens de ceux de la station ISAR de Rubona au Rwanda (NDAYIZIGIYE, 1993) où des mesures antiérosives similaires pratiquées sur le même type de sol doivent être accompagnées d'une correction du pH (2,5 t/ha/3 ans de chaux) pour éteindre la toxicité aluminique et d'un apport minéral complémentaire (60 unités de NPK suffisent pour les céréales);

- Le charriage des particules solides n'est pas sélectif sur forte pente, ce qui confirme là encore le mécanisme de « détachabilité » des agrégats en sols argileux ferrallitiques et leur charriage proportionnel à l'énergie cinétique de l'eau ruisselée (DUCHAUFOR et al, 1991 et DUCHAUFOR, 1995).

- D'après les travaux de KÖNIG et NDAYIZIGIYE (1992), l'apport des deux à trois coupes annuelles des arbustes légumineux avoisinerait celui de dix tonnes de fumier de ferme. L'agroforesterie contribue ainsi théoriquement à l'équilibre organo-minéral d'un sol ferrallitique. Par la suite, les travaux de NDAYIZIGIYE (1993) à Rubona ont démontré qu'à partir de la deuxième année d'existence, il est préférable de renforcer l'efficacité des haies en jetant les déchets de labour au pied des arbustes légumineux et d'utiliser les produits de coupe pour alimenter le petit bétail, ce dernier offrant une quantité non négligeable de fumier de qualité pour fertiliser les parcelles vivrières intercalaires. Nos essais ont effectivement démontré que la biodégradation des produits de la haie durant les trois années de suivi n'a pas réellement restauré le sol que ce soit en amont ou en aval du dispositif. Néanmoins, la partie aval ne présente aucune dégradation avancée comme cela est souvent le cas en milieu réel en raison du « grignotage » de la bordure de la haie par les travaux du sol. La bonne épaisseur de l'horizon organique peut en être la raison bien que cela n'ait pas empêché une légère baisse des productions en aval de la haie.

¹ Indice de Kamprath = Taux d'aluminisation d'un sol → $Ik = \frac{Al^{3+}}{S + H^+ + Al^{3+}}$ en %

IV. CONCLUSION

Les résultats des mesures sur parcelle d'érosion donnent des renseignements particulièrement intéressants à la fois sur le mode de fonctionnement des aménagements biologiques, principales techniques antiérosives déployées en milieu paysan et sur la productivité de ce système de « culture en couloir » (association haie/vivriers).

Les pertes en terre et les taux de ruissellement s'avèrent être de bons indicateurs permettant de tester l'efficacité agro-physique et économique de la haie mixte *Setaria/Calliandra*. Elle présente de nombreux avantages, déjà longuement cités dans les littératures burundaises et internationales, mais également des inconvénients non négligeables. Nous les résumons ci-dessous:

Avantages :

. La haie mixte constitue un frein aux écoulements d'eau en réduisant le ruissellement de 25 à 40% sur culture de maïs et haricot et de 90% sur manioc (fertilisé);

. La haie mixte constitue un micro-barrage au transport des charges solides en réduisant les pertes en terre à l'infini sur culture de manioc (fertilisé) et de 45 % en moyenne sur culture de maïs et haricot. Cette réduction n'est cependant visible qu'une fois la haie entièrement constituée (soit cinq mois de croissance au minimum après plantation);

. La double haie a permis de réduire la pente initiale de 30 % en quatre années et de constituer un talus de 70 cm fortement consolidé par les racines des *Calliandra*. Les atterrissements sont donc réels mais sans véritablement contribuer à un enrichissement du sol en amont des haies;

. La mise en place des 20 m linéaires de haie de *Setaria/ Calliandra* n'ont demandé que 2 Hj. Quant au bénéfice retiré, il est multiple: tiges d'excellente rectitude pour le tuteurage ou le bois de feu; production de fourrage mixte amélioré; quantité constante de biomasse foliaire de *Calliandra* malgré l'existence des compétitions culturales et l'épuisement du sol (production hebdomadaire moyenne de 0,65 Kg/10 m sur sol argileux acide); biomasse verte pouvant servir de fertilisants et de paillis des cultures vivrières associées, ce dernier ayant prouvé une efficacité antiérosive temporaire sur cultures peu couvrantes (d'environ un mois en pleine saison des pluies). Théoriquement, ces multiples usages augmentent les possibilités de diversification voire même d'intensification de l'exploitation agricole. La haie sera donc d'autant plus acceptée qu'elle rapporte du fourrage ou du bois au moment où les besoins s'en font ressentir alors que leur approvisionnement à l'extérieur de l'exploitation devient de plus en plus difficile.

Inconvénients :

. L'efficacité du filtre de la bande herbacée est proportionnelle à la fertilité du sol. En terrain pauvre et/ou épuisé (dans notre cas: pH = 4,9 , CEC = 15 meq/100g saturée à 10 % et Ik = 55), la croissance et la production moyenne du *Setaria*, de 10 fois inférieure à celles d'un sol fertile (pH = 5,3 , CEC = 14,7 saturée à 50 % et Ik = 4) sont manifestement insuffisantes pour empêcher le transport de matériaux solides. Une fertilisation est absolument nécessaire afin de renforcer utilement l'effet du micro-barrage. Par ailleurs, la pérennité de la bande d'arrêt herbacée est fondamentale pour permettre un fonctionnement durable du dispositif. Dans ce cas, en conditions édaphiques similaires, le choix d'une espèce plus adaptée que le *Setaria* semble primordial.

. Les haies sont assimilées à des cultures en couloir et possèdent par conséquent les défauts d'un tel dispositif: gestion difficile pour assurer une production équilibrée entre haie et cultures vivrières saisonnières ou pérennes; concurrences aériennes et souterraines multiples (lumineuse, nutritionnelle et hydrique) portant aussi bien sur les cultures associées que sur les différentes composantes de la haie (à l'exemple de la mortalité du *Setaria* étouffé par la vigueur du manioc ou de la réduction de 50 % du rendement en haricot). Ces phénomènes de concurrence sont d'autant plus sensibles que les contraintes édaphiques sont élevées (acidité, faibles réserves en eau utile et en NPK). Un amendement calcaire accompagné d'une fertilisation complémentaire apparaissent donc nécessaires sur sol ferrallitique désaturé;

. La restauration du sol par décomposition des produits de la haie ne sera éventuellement appréciable que si l'intégralité des résidus foliaires est destinée au mulch (*Setaria* et *Calliandra* dans notre cas). Elle exige de toute façon un délai trop long pour être acceptée par la majorité des petits agriculteurs qui recherchent avant tout une rentabilité rapide de leur effort en utilisant les composantes de la haie pour d'autres usages, notamment le fourrage lorsque celui-ci est orientée vers le petit élevage. Dans ce cas, des espèces plus productives et plus pérennes que le *Setaria* sont plus appréciées par les éleveurs, même si certaines d'entre elles apparaissent plus compétitives à l'égard des cultures vivrières intercalaires. C'est ainsi qu'au Rwanda, le pennisetum, le tripsacum et le desmodium ont depuis longtemps supplanté voire même remplacé le *Setaria*.

. L'intégration et la pérennité d'un tel aménagement dans le système d'exploitation dépendent de l'occupation du sol (nécessité d'un espace cultural relativement aéré et lumineux), de la disponibilité en terre et du mode de gestion des sous-systèmes par les exploitants. Son intégration ne peut être systématisée dans les exploitations.

* *
* *

Cet inventaire souligne bien les difficultés de mise en pratique d'une telle technologie dans le système d'exploitation. Dans certains cas, elle est même totalement novatrice et contradictoire avec les objectifs visés par l'agriculteur.

La haie mixte n'en demeure pas moins performante lorsqu'elle répond à des besoins prioritaires qui privilégient le développement économique de l'exploitation. Il faut néanmoins souligner que la connaissance approfondie du fonctionnement des systèmes d'exploitation est une condition préalable à la mise en oeuvre de la pratique des haies.

REMERCIEMENTS : Nous remercions vivement Dr. E.J. ROOSE pour ses commentaires judicieux. Ce travail a été financé par le Fonds d'Aide et de Coopération (FAC: projet 06/CD/91BUR).

BIBLIOGRAPHIE

BIZIMANA M., 1992 & 1993 - Rapports annuels ISABU 1990-1991 et 1992, partie Erosion.

BIZIMANA M., DUCHAUFOUR H., MIKOKORO C., 1992 - Les acquis de la Recherche à l'ISABU en matière de protection et de restauration des sols. Séminaire sur l'Erosion des Sols au BURUNDI dans le cadre du 30ème anniversaire de l'ISABU. Bujumbura, 26 au 28 Octobre 1992. 24 p.

BOLLINE A., ROUSSEAU P., 1978 - Erodibilité des sols de moyenne et haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre. Bull. Soc. Géog. de Liège 14, 4, 127-140.

DUCHAUFOR H., PARTY J.P., 1988 - Etude de la Conservation des Eaux et des Sols dans le Mumirwa. Cas de deux bassins versants de CIRISHA et NYARUMPONGO (Commune d'ISALE). Mission d'Appui Technique à l'ISABU; 42 p. + annexes + planches couleurs.

DUCHAUFOR H., BIZIMANA M., MIKOKORO C., LEBRETON M. (1991): Synthèse de 10 années de Recherche en Conservation des Eaux et des Sols. Rapport Annuel ISABU 1989-1990. 68 p + annexes

DUCHAUFOR H., 1995 - L'érosion hydrique et la dégradation des sols au Burundi: incidence sur l'économie rurale et paysanne. Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage. Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. 184 p + annexes.

KABONEKA, S., BITOKI O., 1991 - Rapports annuels ISABU 1990-1991, partie Agroforesterie.

KONIG D., 1990 - Contributions des méthodes agroforestières à la lutte antiérosive au RWANDA. Bull. Réseau Erosion 7, ORSTOM Montpellier : 185-191

KONIG D., 1992 - L'agriculture écologique agroforestière: une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. Bull. Réseau Erosion 12, ORSTOM Montpellier: 130-139.

NAIR P.K.R. (1993): An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers in cooperation with International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). 499 p.

NDAYIZIGIYE F., 1990 - L'aménagement de colline (terroir) dans la zone d'altitude moyenne au RWANDA: exemple de la région de Butare. Bull. Réseau Erosion 7, ORSTOM Montpellier; 173 - 184.

NDAYIZIGIYE F., 1993 - La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols au Rwanda. Analyse des techniques antiérosives et de leurs effets sur la productivité des terres. Thèse Doct. Géog. Phys. Univ. Strasbourg, 246 p.

PENNES J.M., 1991 - Rôle des techniques agroforestières dans le maintien et la restauration de la fertilité des sols. Acquis et perspectives du Programme Agroforesterie de l'ISABU. Séminaire National sur la Fertilisation des Sols au Burundi du 10 au 12 décembre 1991 à Bujumbura - Programme Fertilité des sols de l'ISABU - 229 - 238

ROOSE E.J., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. Documents de l'ORSTOM, N°78; 108 p.

ROOSE E.J., 1986 - Terrasses de diversion ou micro-barrages perméables? Analyse de leur efficacité en milieu paysan Ouest Africain pour la Conservation de l'Eau et des Sols dans la zone soudano-sahélienne. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol XXV, N°2, 1986; 197-208.

ROOSE E.J., 1990 - Un Programme National de Gestion Conservatoire de l'Eau et de la Fertilité des Sols (GCES). Rapport de Mission effectuée au BURUNDI du 26/02/1990 au 17/03/90; 30 p.

ROOSE E.J., 1995 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique de la FAO N°70; 420 p.

SIMONART T., 1992 - La conservation des sols en milieu paysan burundais. Etude et hiérarchisation des stratégies antiérosives. Bujumbura; version corrigée et augmentée; Octobre 1992. Mémoire de Fin d'Etudes (UCL, BELGIQUE). 145 p. + 20 planches couleur.

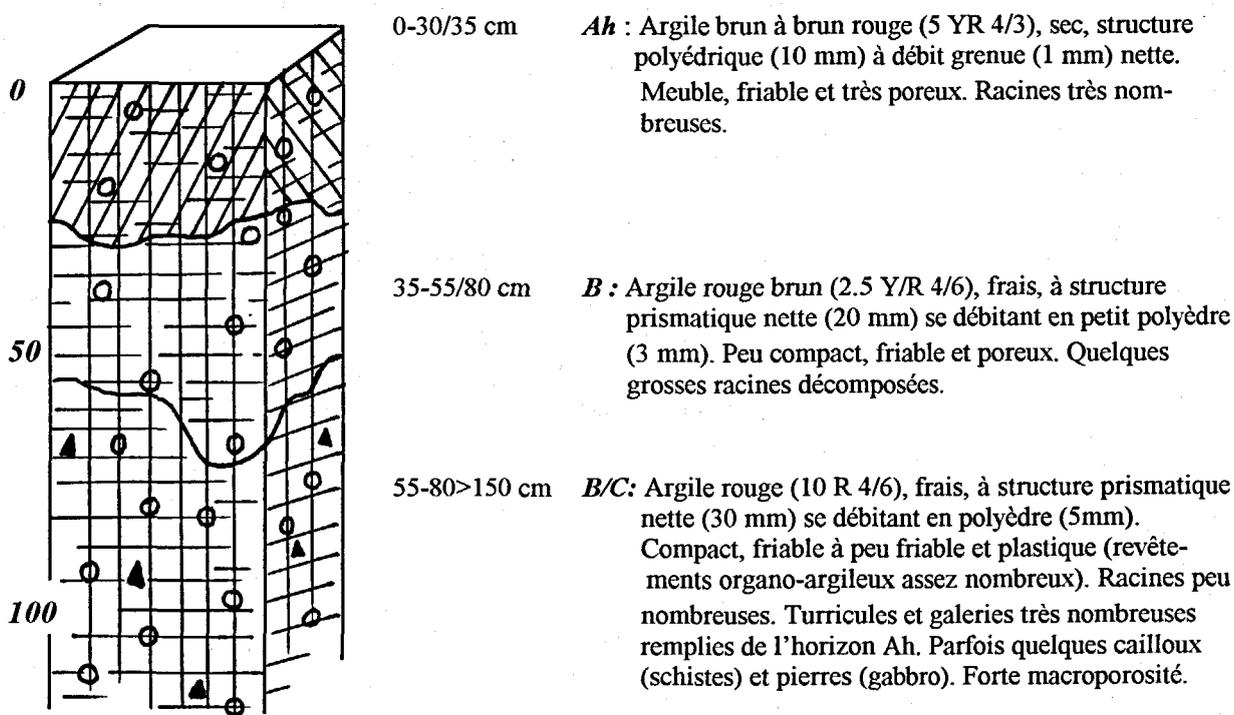
SIMONART T., DUCHAUFOR H., BIZIMANA M., MIKOKORO C., 1994 - Hiérarchisation des stratégies antiérosives en milieu paysan burundais. Les Cahiers d'Outre-Mer; N° 185- 47ème année; Janvier-Mars 1994. Revue de Géographie de Bordeaux. 49-64, 9 Fig.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1960 - An Universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th intern. congr. Sol Science. Vol. 1, 418-425.

ANNEXE 1

- **Sol** : Ferrallitique désaturé argileux (classification française)
Ferralsol argileux humifère (classification belge de l'INEAC-ISABU)
- **Représentativité** : Versant de pente modérée à moyenne (20 à 50 %) du Mumirwa central représentée par la station expérimentale de Rushubi 2
- **Altitude de la station** : 1650 m
- **Roche mère** : Schiste micacé
- **Modelé** : Versant de colline ferrallitique en demi-orange. Pente régulière de 20 à 85 %
- **Description sommaire** : Sol argileux, humifère, brun sur argile rougeâtre à 25-35 cm à structure polyédrique nette puis prismatique vers 50-60 cm

Description du profil type (3 profils)



Ce type de sol est très bien représenté dans la région du Mumirwa central sur les collines ferrallitiques en demi-orange dont l'ossature est constituée par un substratum schisteux micacé et de phyllades (série du burundien). Son taux d'argile varie entre 65 et 75 %.

Caractéristiques agronomiques : Sol acide désaturé. Taux d'aluminium échangeable élevé. Capacité d'échange cationique assez élevée en raison du fort taux d'argile mais très déficitaire en cations basiques. Taux de saturation très bas. Teneur en matière organique satisfaisante mais à très faible minéralisation (pH acide et C/N parfois élevé).

Description analytiques:

Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	N %	C/N	Al ³⁺ meq / 100g	IR. %	CATIONS BASIQUES en meq/100g de terre						P ppm (o-d)
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S	T	V%	
Ah	0-25 / 35	4,5	0,29	9,0	3,87	92	0,17	0,04	0,09	0,31	16,83	3,0	58
B	20-30 / 55-80	4,7	0,11	10,5	2,08	95	0,05	0,02	0,03	0,11	6,52	1,7	13
B/C	55-80 à > 150	4,8	0,08	11,0	2,20	97	0,01	0,01	0,03	0,06	6,27	0,9	11