

EFFETS DE LA CULTURE EN COULOIRS SUR LES PROPRIETES DU SOL ET LES PERFORMANCES DES ARBUSTES ET DES CULTURES VIVRIERES DANS UN ENVIRONNEMENT SEMI-ARIDE AU RWANDA.

Par

Balasubramanian V.* et Sekayange L.**

Mots clés: arbustes, biomasse, Calliandra, Cassia, Engrais vert/paillis, fertilité, haies, nutriments, Rwanda, semi-aride, Sesbania, système racinaire.

RESUME.

Le potentiel de production de biomasse et d'amélioration de la fertilité du sol par cinq légumineuses arbustives en haies a été étudié sur un Ultic Haplustox dans un site semi-aride au Rwanda de 1983 à 1989.

L'évaluation des espèces pour les haies a indiqué que Calliandra calothyrsus Meisn, Cassia spectabilis DC et Leucaena - particulièrement Leucaena diversifolia (Lam) de Wit-conviennent pour cette écologie. Sesbania sesban (L.) Merr n'a pas pu supporter les tailles intensives. Ces espèces ont atteint la hauteur de 2,85 à 3,77 m 16 mois après la plantation, une production moyenne de 5,6 à 7,3 t d'émondes sèches et 3,7 à 5,0 t de bois sec par hectare et par an, ainsi qu'une bonne tolérance aux stress. La production de biomasse a régulièrement augmenté d'une année à l'autre. La production annuelle moyenne de nutriments par la biomasse foliaire a été de 72 à 119 kg/ha d'azote, 2 à 3 kg/ha de phosphore, 47 à 94 kg/ha de Calcium, 8 à 19 kg/ha de magnésium, et 29 à 60 kg/ha de potassium; cette production a été équivalente à la contribution de 10 tonnes/ha et par an de fumier de ferme. L'enfouissement des produits de la taille a réduit le taux du déclin de la fertilité du sol provoqué par les cultures: le pourcentage d'accroissement par rapport au témoin, après cinq ans, a varié de 2 à 20 pour le Carbone du sol, de -3 à 7 pour le potassium, de 4 à 51 pour la calcium, de 7 à 31 pour le magnésium, et de 3 à 47 pour la capacité d'échange. L'augmentation du rendement en grains secs du haricot (Phaseolus vulgaris L.) et du sorgho (Sorghum bicolor L.) provoquée par l'enfouissement des émondes a été la plus élevée pour Cassia spectabilis. La réponse du maïs (Zea mays L.) a été faible; le rendement en tubercules frais de la patate douce (Ipomoea batatas (L.) Lam) a été moins élevé dans les parcelles avec les arbustes que dans les parcelles témoin.

* Ph.D., pédologue: Projet IRRI, B.P. 4151 Antananarivo, MADAGASCAR.

** Ir. Agronome, Chercheur à l'ISAR, B.P. 138 Butare, RWANDA.

1. INTRODUCTION.

En raison de la pression démographique au Rwanda, de plus en plus de terres marginales jadis réservées aux reboisements et pâturages ont été conquises par la production vivrière. Il en a résulté non seulement l'érosion accélérée du sol, mais aussi la rareté du bois de chauffage dans une bonne partie du pays. La stabilité de la production vivrière est également précaire à cause du déclin progressif de la fertilité des sols; et à ce sujet beaucoup de pays en voie de développement dans les zones tropicales partagent le cas du Rwanda avec des degrés différents (Balasubramanian, 1983; Bene et al., 1977; Douglas and Hart, 1976; Grinnel, 1975; Roos, 1984; Zimmerman, 1986). Les techniques de production sont urgemment requises pour une exploitation prudente des terres marginales avec le minimum de risque de dégradation.

L'incorporation judicieuse d'arbres et d'arbustes dans les systèmes agricoles et pastoraux est l'un des moyens possibles pour résoudre les problèmes de dégradation du sol et de la crise du bois de chauffage (Balasubramanian et al., 1984; Balasubramanian et Egli, 1986; Balasubramanian et Sekayange, 1986; King, 1979; Kang et al., 1984; Neuman, 1983). L'intégration d'arbres et d'arbustes dans les exploitations agricoles permettra la stabilité de la production vivrière et accroîtra l'efficacité de l'utilisation de fertilisants par la réduction des pertes de nutriments. Les ligneux perennes, une fois établis, s'auto-entretiennent bien et jouent un rôle cyclique dans la conservation du sol et dans l'optimisation de l'exploitation du sol.

Depuis 1983, un système de culture en couloirs a été étudié dans l'environnement semi-aride au Sud-Est du Rwanda avec un objectif primordial d'améliorer la fertilité des sols pauvres de plateau au moyen de la production et utilisation, in situ, de la matière-verte. La production de biomasse par les arbustes, l'addition des nutriments au sol, l'évolution de la fertilité du sol et la réponse des cultures en couloirs sont discutées dans le présent article.

2. MATERIEL ET METHODES.

2.1. Description du site.

Le site de Kagasa est situé dans le Sud-Est du Rwanda à 2°17'S et 30°13'E à une altitude de 1400 m. La pente est inférieure à 3%. La pluviosité annuelle moyenne est de 836 mm, répartie en deux saisons d'octobre à mi-Décembre et de mi-Février à Mai. La grande saison sèche dure de Juin à Septembre. Des variations intra et interannuelles de pluviosité sont courantes et posent des problèmes de sécheresse imprévisible. La température moyenne annuelle oscille autour de 21°C et l'humidité relative moyenne mensuelle varie de 59 à 82% (Balasubramanian et Egli, 1986). Le sol du site est un isohyperthermic, kaolinitic, clayey, ultic haplustox (Soil survey Staff, 1975) ou un ferralsol (FAO-UNESCO, 1987). Les propriétés moyennes du sol de surface après défrichage en 1983 étaient: Carbone organique = 8 g/kg, Azote total = 0,75 g/kg, phosphore Bray II = 8 mg/kg, pII à l'eau = 5,52, Calcium échangeable = 13,0 mmol/kg, magnésium = 8,0 mmol/kg et potassium = 4,9 mmol/kg.

2.2. Etablissement des haies.

Les espèces d'arbustes testées sont, Calliandra calothyrsus, Cassia spectabilis, Leucaena leucocephala K-28, Leucaena diversifolia K-156 et Sesbania sesban.

Toutes ces espèces ont été transplantées en Novembre 1983 hormis Leucaena leucocephala plantées en 1985 à la place de Sesbania sesban qui n'avait pas survécu aux coupes. La largeur des couloirs est de 5 mètres; l'espacement entre plants est de 100 cm pour Cassia et 50 cm pour les autres. L'espacement de Cassia est plus grand à cause de sa ramification déjà abondante à hauteur basse. Les arbustes étaient plantés en lignes simples. Le niébé a été planté dans les couloirs sans fumure durant la période d'établissement des arbustes.

2.3. Détails expérimentaux.

Le dispositif expérimental était en blocs aléatoires en 4 répétitions. Les parcelles principales mesuraient 20 m x 5 m. Les cinq traitements étaient les arbustes et un témoin sans arbustes. La moitié de chaque parcelle principale recevait le fumier de ferme à la dose de 10 tonnes par hectare et par an, chaque fois en octobre. Ce fumier (708 g de matière sèche par kg) contenait en moyenne 12,6 g/kg d'azote; 1,73 g/kg de phosphore; 9,2 g/kg de potassium; 11,9 g/kg de calcium et 2,4 g/kg de magnésium. Les traitements secondaires (avec et sans fumier) n'ont pas été randomisés; par conséquent les résultats de la réponse des cultures vivrières aux traitements ont été analysés séparément.

Quant à l'évaluation des caractéristiques des espèces arbustives, tous les pieds, excepté ceux du bout de la haie de chaque espèce, ont été mesurés. La hauteur a été mesurée à 1 et 1,5 ans (l'âge inclut le séjour en pépinière). Toutes les espèces étaient taillées quatre fois par an (Septembre, Novembre, Février et Mars/Avril) à 50 cm du sol. La biomasse aérienne était répartie en (a) feuilles et branches tendres et (b) bois dur. Après le mélange de la biomasse à des fins d'homogénéisation, des échantillons étaient prélevés pour la détermination de la matière sèche et de la teneur en éléments nutritifs. La mortalité des arbustes après les tailles a été évaluée par comptages périodiques des pieds morts. La biomasse foliaire (plus branches tendres) a été enfouie à une profondeur de 15 cm du sol durant le premier labour à la houe en Septembre et en Février. Les émondes de Novembre et Mars/Avril ont été soit épendues à la surface du sol sous forme de paillis, soit partiellement enfouies durant le sarclage de cultures en essai. Le bois dur retiré des parcelles pouvait être utilisé comme combustible.

La séquence des cultures vivrières plantées dans les couloirs étaient la suivante: l'association haricot (Phaseolus vulgaris L.) + maïs (Zea mays L.) en octobre, suivie de sorgho (Sorghum bicolor L.) en culture pure en Février de 1984 à 1987; l'association patate douce (Ipomoea batatas (L.) Lam) + maïs en Octobre suivie de la culture pure du haricot en Février de 1987 à 1989.

Quatre échantillons composites de sol (chacun constituant 20 prélèvements au hasard) ont été prélevés à la profondeur de 0-15 cm afin de déterminer le niveau de fertilité initiale du sol préalablement à l'établissement des haies d'arbustes en 1983. Les échantillons du sol de chaque parcelle secondaire ont été, ensuite, prélevés à 0-15 cm en Juin 1987. Tous ces échantillons ont été analysés pour le pH-eau, le pH-KCl, le Carbone organique, l'azote total, le phosphore Bray II et les cations échangeables. Par ailleurs, les échantillons de fumier et des produits de la taille ont été analysés pour la détermination de l'azote total, du phosphore, du potassium, du calcium et du magnésium par la méthode décrite par Juo (1979).

Le système racinaire de trois espèces: Calliandra calothyrsus, Cassia spectabilis et Leucaena leucocephala a été étudié en creusant les trous d'un rayon de 50 cm autour de chaque arbuste et en déplaçant tout le sol sur les intervalles de profondeurs suivantes: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm et

Dans les zones subhumides du Nigéria les performances pour Leucaena leucocephala (Kang et al., 1984), Calliandra calothyrsus (Gichuru et Kang, 1989) et Cassia siamea Lam. (Yamoah et al. 1986a) ont été trouvées similaires. Le rendement annuel des émondes de Leucaena leucocephala à Kagasa est d'environ la moitié de celui obtenu à Ibadan par Kang et al (1984); cette différence serait due aux différences d'altitudes, de pluviosités, de températures et de fertilité entre les deux sites. Par ailleurs, la largeur des couloirs est de 5 mètres à Kagasa alors qu'elle est de 4 mètres à Ibadan.

Calliandra calothyrsus a donné le rendement en bois le plus élevé au cours des deux premières années, puis Leucaena leucocephala et Leucaena diversifolia l'ont surpassé au cours des années qui ont suivi. La production de bois dur à Kagasa est comparable à celle d'Ibadan (Kang et al., 1984) pour Leucaena leucocephala. Le rapport feuilles/bois a été de 2,38 pour Cassia spectabilis; 1,58 pour Leucaena diversifolia; 1,41 pour Leucaena leucocephala et 1,31 pour Calliandra calothyrsus. Cette dernière espèce apparaît encore une fois comme

Les racines superficielles dans la couche de 0-15 cm ont été perturbées à plusieurs reprises lors des labours; par conséquent il n'y avait que des traces de racines dans cette couche lors de l'étude. Les racines de Lycopodium et S.

La probable efficacité d'extraction de nutriments dans les sols acides et une résistance plus élevée aux adversités du milieu rendent Cassia spectabilis mieux adapté que les espèces de Leucaena dans les zones marginales.

Le rendement en matière sèche et la composition chimique du feuillage déterminent la quantité de nutriments incorporés au sol. L'addition de l'azote a varié entre 26 et 119 kg par ha et par an, les meilleurs pourvoyeurs étant Leucaena diversifolia et Cassia spectabilis (Tableau 3). Ces mêmes espèces ont fourni au sol des quantités de potassium relativement plus élevées que pour d'autres espèces. L'addition annuelle du phosphore a été faible: 1 à 3 kg/ha.

Tableau 3: Quantités moyennes annuelles de nutriments ajoutées au sol à travers la biomasse foliaire des arbustes et le fumier de ferme à Kagasa, Rwanda, 1984-1989.

Source de biomasse	Matière sèche t/ha	N	P	K kg/ha	Ca	Mg
<u>ADDITION DE NUTRIMENTS A TRAVERS LES FEUILLES.</u>						
<u>Calliandra calothyrsus</u>	3,432	73,8	2,6	29,2	46,7	10,3
<u>Cassia spectabilis</u>	3,808	94,8	3,1	52,6	49,5	7,6
<u>Leucaena diversifolia</u>	3,304	72,4	2,6	29,4	61,8	9,9
<u>Leucaena leucocephala</u>	4,860	119,1	3,2	59,8	94,3	18,5

Il semble que le système racinaire des arbustes recycle les éléments nutritifs libérés par les roches en altération dans les horizons B/C ou C (Young, 1989). Cependant, aucune évidence expérimental n'a jamais appuyé cette hypothèse.

3.4. Evolution du niveau de fertilité du sol.

Les arbres contribuent à entretenir la fertilité du sol par le biais de la fixation d'azote, l'addition de la matière organique et le pompage accru de nutriments dans les horizons profonds, et par la réduction des pertes de matières organiques et de nutriments au moyen de la lutte antiérosive et du recyclage des éléments nutritifs (Young, 1989).

Le même principe tient bon pour le système de culture en couloirs dans lequel les arbustes en haies sont taillés périodiquement et la biomasse foliaire enfouie.

Le sol à Kagasa était naturellement pauvre en matières organiques et en éléments nutritifs (Tableau 4).

Tableau 4: Evolution des propriétés du sol de surface (0-15) telle qu'influencée par la culture à la houe et l'application des émondes et/ou du fumier de ferme à Kagasa, Rwanda, 1983-1987.

Traitements	C. organique g/kg	pH eau	pH KCl	K extr.	Ca extr mmol/kg	Mg extr.	ECBC
<u>Octobre 1983</u>							
Sol vierge	8,00	5,52	4,70	4,90	13,00	8,00	37,20
<u>Juin 1987</u>							
<u>Sans fumier</u>							
Témoin	5,50	5,27	4,91	2,9	16,90	6,80	35,60
<i>Calliandra calothyrsus</i>	6,10	5,29	4,96	2,8	17,50	7,30	42,00
<i>Cassia spectabilis</i>	6,60	5,56	5,29	3,1	25,60	8,90	52,20
<i>Leucaena diversifolia</i>	5,60	5,45	5,11	2,9	18,10	7,30	42,30
<i>Sesbania sesban</i>							
<i>Leucaena leucocephala</i>	5,30	5,13	4,63	2,8	17,50	6,90	36,70
SE	0,50	0,16	0,18	0,20	3,10	0,70	5,50
<u>Avec fumier</u>							
Témoin	6,6	5,99	5,74	5,0	28,8	9,8	52,6
<i>Calliandra calothyrsus</i>	7,2	5,84	5,53	5,1	26,9	10,0	63,5
<i>Cassia spectabilis</i>	7,1	6,06	5,75	5,0	30,6	10,3	71,2
<i>Leucaena diversifolia</i>	7,2	6,05	5,46	5,6	23,8	9,7	62,7
<i>Sesbania sesban</i>							
<i>Leucaena leucocephala</i>	7,4	5,91	5,63	4,9	25,0	8,5	47,7
SE	0,40	0,18	0,15	0,3	3,5	1,1	8,8

Après quatre ans de culture sans fumure ni incorporation d'émondes, le niveau de toutes les propriétés du sol de surface a baissé dans les parcelles témoins à l'exception du calcium. La restitution, au sol, de la biomasse foliaire a limité cette baisse de la fertilité provoquée par la culture ininterrompue. Parmi les espèces arbustives, l'effet de Cassia spectabilis a été le plus prononcé, suivi de Leucaena diversifolia et Calliandra calothyrsus. L'effet favorable de l'application, sur les sols, des émondes riches en nutriments de Cassia siamea (Yamoah et al., 1986b) et de Leucaena leucocephala (Kang et al., 1985) a été observé dans les Tropiques subhumides. L'application du fumier de ferme seul ou en combinaison avec les produits de la taille des arbustes a amélioré le niveau de fertilité du sol, même au-delà du niveau obtenu sous végétation savaneuse avant défrichage (Tableau 4). Des améliorations substantielles du pH du sol, du niveau du Calcium et de la capacité d'échange cationique effective sont marquées. Les différences entre espèces d'arbustes ont, cependant, été non significatives à la fois dans les parcelles avec et sans fumier.

3.5. Performances des cultures.

3.5.1. Haricot et maïs.

Au cours des cinq premières années, des améliorations lentes mais soutenues du rendement en grains de haricot ont été enregistrées dans tous les traitements en comparaison avec le témoin. A la première année, seules les parcelles avec Cassia spectabilis ont donné des rendements supérieurs à ceux du témoin. Durant les années suivantes, tous les traitements, sauf la combinaison Sesbania sesban - Leucaena leucocephala en 1986-1987, ont donné le rendement en grains de haricot meilleur que le témoin. Les parcelles avec Cassia spectabilis ont toujours donné les rendements les plus élevés toutes les années qu'a duré l'expérience. Quand le fumier était appliqué en supplément à la biomasse foliaire, les rendements du haricot augmentaient davantage, mais les différences entre traitements ont été significatives seulement en 1985-86 et 1988-89. Encore une fois le traitement avec Cassia spectabilis est venu en tête durant les quatre premières années, et il a été surpassé par Leucaena diversifolia à la

L'effet des émondes d'arbustes sur le rendement en grains de sorgho a été positif toutes les trois années durant; mais les différences ont été significatives en 1987, année où toutes les parcelles avec arbustes ont donné des rendements plus élevés qu'avec le témoin.

3.5.3. Patate douce.

En 1987/1988 la patate douce plantée en Octobre a souffert de deux coups de sécheresse entre Décembre 1987 et Février 1988; et, pour cela les rendements en tubercules frais ont baissé. En général le rendement en tubercules de la patate douce plantée dans les couloirs délimités par les arbustes a été plus bas que celui obtenu avec le témoin sans arbustes au cours de deux années d'évaluation; la chute des rendements a été la plus marquée dans les parcelles avec Calliandra calothyrsus et Leucaena leucocephala en 1987-88 et seulement dans les parcelles avec Calliandra en 1988-89 sans application de fumier.

Avec l'application du fumier, toutes les parcelles avec haies d'arbustes ont donné des rendements sensiblement plus bas que ceux obtenus avec le témoin pendant deux ans.

La réduction des rendements pouvait être due à la superficie disponible réduite pour la patate douce (80%), mais aussi en raison de la baisse du rendement en tubercules dans le voisinage immédiat des haies d'arbustes. Quand le rendement en tubercules a été réajusté sur base de la superficie réellement occupée par la culture, les rendements dans les couloirs se sont élevés et pouvaient être favorablement comparés à ceux du témoin. Mais même dans ce cas, l'augmentation du rendement en tubercules par unité de surface cultivée n'a pas été suffisamment élevée pour compenser la perte de 20% du terrain consacrés aux arbustes.

3.5.4. Compétition arbustes/cultures dans le voisinage.

Quand les rendements en tubercules obtenus sur les billons individuels ont été analysés en 1988/89, il est apparu que les billons adjacents aux haies d'arbustes ont donné les rendements plus bas que ceux obtenus avec les billons du centre. Le taux de réduction des rendements sur des billons adjacents aux haies par rapport au rendement moyen des billons du centre a varié de 14 à 29 sans fumier, et entre 23 et 32 avec fumier. Les différences entre espèces en termes d'effets du voisinage arbustes/cultures ont été non significatives. Puisque les tailles périodiques faites à 50 cm de hauteur ont minimisé l'effet d'ombrage, et que l'addition du fumier aurait limité les déficits en nutriments, seule la compétition pour l'eau semble avoir réduit les rendements en tubercules de la patate douce dans cet environnement semi-aride.

4. CONCLUSION.

Avec une largeur des couloirs de 5 mètres et quatre tailles par an, Cassia spectabilis a été le mieux performant, suivi de deux espèces de Leucaena et de Calliandra calothyrsus.

En termes de survie, Sesbania sesban a succombé aux tailles répétées et, par conséquent, n'est pas approprié pour le système de culture en couloirs dans cette écologie.

Les teneurs faibles en calcium de Cassia spectabilis, Calliandra calothyrsus et Sesbania sesban impliquent une relation entre les sols acides avec des teneurs faibles en Calcium et l'adaptation des espèces testées à de tels sols.

L'addition de nutriments par les émondes est comparable à l'incorporation annuelle de 10 tonnes par hectare de fumier de ferme pour tous les éléments nutritifs à l'exception du phosphore. En conséquence, les agriculteurs sans bétail pourraient avantageusement utiliser les espèces sus-mentionnées pour l'entretien de la fertilité des sols.

Une observation curieuse: le feuillage de Cassia spectabilis, ne nodulant pourtant pas, a eu la teneur en azote la plus élevée.

L'incorporation des émondes d'arbustes a limité la chute du niveau des éléments nutritifs du sol que la production vivrière aurait provoquée.

L'application combinée de la biomasse foliaire et du fumier a sensiblement amélioré le pH du sol, le niveau du Calcium; et la capacité d'échange.

Le haricot, le sorgho et le maïs, mais non la patate douce, sont compatibles avec les espèces d'arbustes étudiées.

Pour constituer les barrières antiérosives plus efficaces, il aurait fallu serrer les espacements entre les arbustes et planter ceux-ci en quinconce en lignes jumelées.

5. BIBLIOGRAPHIE

Balasubramanian, V., 1983. Alley cropping: can it be an alternative to chemical fertilizers in Ghana? Paper given at the Third National Maize Workshop held at Kwadaso, Kumasi, Ghana. Feb. 1-3, 1983. Mimeo. 22 p.

Balasubramanian, V., and Egli, A., 1986. The role of agroforestry in the farming systems in Rwanda with special reference to the Bugesera-Gisaka-Migongo region. *Agroforestry Systems* 4: 271-289.

Balasubramanian, V., Price, M., Sekayange, L., et Cishahayo, D., 1984. Systèmes agrosylvicoles d'utilisation des sols en tant que voie du développement agricole au Rwanda. In *Journées d'Etudes Forestières et Agroforestières, ISAR-Rubona*, 8-12 Oct. 1984: Compte-Rendu, pp. 124-138.

Balasubramanian, V., and Sekayange, L., 1986. Biological soil fertility management in African Highlands with examples from Rwanda. XIII Intl. Congr. Soil Sci. Transactions. Vol. II: 675-676.

Dene, JG, Deal HW and Côté, A., 1977. Trees, food and people: Land management in the tropics. IDRC-084e, Ottawa, Canada.

Douglas, SJ, and Hart RAJ, 1976. Forest Farming towards a solution to problems of world hunger and conservation. Watkins, London.

FAO/UNESCO, 1987. Soil map of the World at the scale 1: 5,000,000 revised

National Academy of Sciences. 1977. Leucaena. Promising forage and tree for the humid tropics. National Academy Press, Washington, DC.

National Academy of Sciences. 1983. Calliandra: A versatile small tree for the humid tropics. National Academy Press, Washington, DC.: 52 p.

Neuman, I.F., 1983. Use of trees in smallholder agriculture in tropical highlands. In Lockeretz, W (ed). *Environmentally Sound Agriculture*, pp. 351-374. Praeger, New York.

Roos, M.S., 1984. Towards a farm model for sustainable, low-input agroforestry systems in the humid tropics with reference to Indonesia. *The Intl. Tree Crops J.* 3: 49-61.

Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-SCS Agric. Handb. 436. U.S. Gov. Print Office, Washington, D.C.

Yamoah, C.F., Agboola, A.A. and Mulongoy, K. 1986a. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry systems* 4: 247-254.

Yamoah, C.F., Agboola, A.A., Wilson, G.F. and Mulongoy, K. 1986b. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18: 167-177.

