

Impact De L'agroforesterie Sur Les Cultures En Milieu Rural En Association Avec Acacia Auriculiformis Et Manihot Esculenta Au Village Kitangua, Territoire De Tshikapa Dans La Province Du Kasai En République Démocratique Du Congo

MATALA MUHAKU Kepler¹

¹Enseignant à l'Institut Supérieur Pédagogique Tshikapa
Apprenant de DEA à l'Université Pédagogie nationale

Auteur Correspondant : Jonathan KWATENG NSELE



Résumé : Cette étude évalue l'impact de l'agroforesterie associant *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta* sur la fertilité des sols, la croissance et la productivité du manioc dans le village de Kitangua, territoire de Tshikapa (Kasai, RDC). Un dispositif expérimental en blocs complets randomisés comportant quatre traitements (T0 : manioc seul ; T1 : Acacia + manioc ; T2 : Acacia + manioc + paillage ; T3 : Acacia + manioc + fumure organique) a été installé durant six mois. Les données agronomiques, édaphiques et socio-environnementales ont été analysées à l'aide de l'ANOVA et du test de Tukey ($p < 0,05$). Les résultats montrent une amélioration significative de la croissance du manioc, de la production des racines tubéreuses et du rendement, particulièrement sous le traitement T3 (16,69 t/ha). L'association agroforestière a également amélioré les propriétés physico-chimiques du sol, notamment le pH, l'azote, le phosphore, les bases échangeables, le carbone organique et la matière organique. Les corrélations observées confirment le rôle déterminant de la fertilité du sol dans la productivité du manioc. Cette étude démontre que l'association *Acacia auriculiformis*–*Manihot esculenta* constitue une stratégie agroécologique efficace pour restaurer les sols dégradés et promouvoir une agriculture durable dans les conditions du Kasai.

Mots-clés : Agroforesterie ; *Acacia auriculiformis* ; *Manihot esculenta* ; Fertilité des sols ; Productivité agricole.

1. Introduction

Dans nombreux pays d'Afrique subsaharienne, et particulièrement en République Démocratique du Congo, les écosystèmes naturels subissent une dégradation croissante sous l'effet combiné des pressions anthropiques et des contraintes climatiques. Cette dégradation se manifeste surtout par la baisse de la fertilité des sols, l'érosion, la latérisation, la désertification ainsi que la perturbation de l'équilibre écologique (FAO, 2015 ; Lal, 2019).

La production agricole vivrière, principale source de subsistance des populations rurales, est aujourd'hui fortement compromise. Elle est confrontée à des contraintes majeures telles que la dégradation physique et chimique des sols, le déboisement incontrôlé, la réduction des périodes de jachère et les aléas climatiques, notamment les sécheresses récurrentes (Dupriez & De Leener, 2005 ; Sanchez, 2010). Cette situation contribue à une baisse significative des rendements agricoles et accentue l'insécurité alimentaire dans les zones tropicales humides.

Ainsi, la productivité agricole ne dépend pas uniquement des caractéristiques physico-chimiques du sol, mais également de la dynamique biologique impliquant la faune et la microflore du sol, qui contribuent à la régénération et à la durabilité des écosystèmes agricoles (Altieri, 1995). Les systèmes agricoles traditionnels, essentiellement basés sur l'agriculture itinérante sur brûlis, deviennent de moins en moins efficaces à la pression démographique croissante et à la réduction des périodes de jachère. Cette situation entraîne une diminution progressive des rendements agricoles et compromet la sécurité alimentaire des populations rurales.

2. Cadre Conceptuel Du Sujet

La présente étude s'inscrit dans le domaine de l'agroforesterie, définie comme un système d'utilisation des terres associant de manière intentionnelle des arbres, des cultures et parfois des animaux sur une même parcelle, dans une perspective de durabilité écologique et économique (Nair, 1993 ; World Agroforestry Centre, 2018).

L'agroforesterie constitue une approche intégrée visant à améliorer la productivité agricole tout en assurant la conservation des ressources naturelles. Elle permet notamment d'accroître la fertilité des sols, de réduire les risques agricoles, de diversifier les sources de revenus et de renforcer la résilience des systèmes agricoles face aux changements climatiques (Garrity, 2004).

Dans ce contexte, les systèmes agroforestiers apparaissent comme des composantes essentielles des systèmes agricoles durables, en raison de leurs interactions écologiques complexes et de leur capacité à intégrer plusieurs fonctions productives et environnementales.

3. Problématique

Malgré son important potentiel agricole, la République Démocratique du Congo fait face à une insécurité alimentaire persistante. Ce paradoxe s'explique en grande partie par la dégradation continue des ressources naturelles, en particulier les sols et les formations forestières.

Dans le territoire de Tshikapa, et plus précisément dans le village de Kitangua, les écosystèmes sont soumis à une pression anthropique intense caractérisée par la déforestation, l'agriculture itinérante sur brûlis, la surexploitation des ressources naturelles et la réduction des périodes de jachère. Ces pratiques contribuent à la diminution de la fertilité des sols, à la perte de la biodiversité et à la déstabilisation des équilibres écologiques (Mbow *et al.*, 2014).

De plus, l'augmentation de la pression démographique accentue la demande en terres cultivables, aggravant ainsi la dégradation des terres et la vulnérabilité des systèmes agricoles.

Face à ces défis, l'agroforesterie est considérée comme une alternative durable susceptible de restaurer la fertilité des sols et d'améliorer la productivité agricole. Toutefois, son efficacité dépend largement des espèces associées, des techniques culturales mises en œuvre et des conditions écologiques locales.

Question principale de recherche

Quel est l'impact de l'agroforesterie, à travers l'association entre *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta*, sur la restauration de la fertilité des sols, la productivité agricole et la préservation des écosystèmes en milieu rural, dans le village de Kitangua, territoire de Tshikapa, province du Kasaï (République Démocratique du Congo) ?

Dès lors, les questions spécifiques suivantes orientent cette recherche :

- Quelles sont les principales causes de la dégradation environnementale dans le village de Kitangua ?
- Dans quelle mesure les pratiques agricoles actuelles influencent-elles la stabilité des écosystèmes ?
- L'association agroforestière entre *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta* permet-elle d'améliorer la fertilité des sols et la productivité agricole ?

4. Hypothèses de recherche

L'adoption d'un système agroforestier associant *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta* constitue une réponse efficace à la dégradation environnementale d'origine anthropique en améliorant durablement la fertilité des sols, la productivité agricole et la stabilité des écosystèmes dans le village de Kitangua, territoire de Tshikapa, province du Kasai (République Démocratique du Congo)

Au regard des questions formulées, les hypothèses spécifiques suivantes sont formulées :

- La dégradation environnementale dans le village de Kitangua est principalement d'origine anthropique, liée aux pratiques agricoles extensives (agriculture sur brûlis, réduction de la jachère, déboisement) et à la pression démographique croissante ;
- Les pratiques agricoles actuelles, caractérisées par une exploitation non durable des terres, contribueraient significativement à la diminution de la fertilité des sols et à la perturbation de la stabilité des écosystèmes dans le milieu d'étude.
- L'association agroforestière entre *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta* améliorerait significativement les propriétés physico-chimiques du sol (matière organique, azote, pH, etc.), la productivité agricole (rendement du manioc) et la stabilité écologique des parcelles, par rapport à la culture pure du manioc.

5. Objectifs de l'étude

5.1. Objectif général

L'objectif général poursuivi par cette recherche est d'améliorer la fertilité des sols et la productivité agricole dans le village de Kitangua à travers l'agroforesterie.

5.2. Objectifs spécifiques

D'une manière spécifique, cette étude vise à :

- Identifier les zones à sols dégradés ;
- Mettre en œuvre des pratiques agroforestières adaptées ;
- Évaluer l'impact de l'association *Acacia auriculiformis* – *Manihot esculenta*.

6. MATERIEL

6.1. Matériel biologique

Le matériel végétal utilisé dans cette étude comprend les essences d'*Acacia auriculiformis* (espèce ligneuse fixatrice d'azote) et les boutures de *Manihot esculenta*, une culture vivrière associée.

6.2. Matériel technique

Les équipements utilisés pour la collecte des données comprenaient :

- ✓ Le ruban métrique pour la délimitation des parcelles ;
- ✓ La balance pour la pesée des récoltes ;
- ✓ La houe et la machette pour l'entretien des parcelles ;
- ✓ Le GPS pour la localisation des sites ;
- ✓ Les matériels de prélèvement du sol (tarière et sachets d'échantillonnage) ;
- ✓ Le pied à coulisse pour le prélèvement des données

7. METHODES

7.1. Méthode d'approche

Cette recherche a adopté une approche :

- ✓ **descriptive, pour caractériser le milieu d'étude ;**
- ✓ analytique, pour évaluer les impacts écosystémiques de l'association agroforesterie ;
- ✓ comparative, en comparant les parcelles agroforesteries (Acacia + manioc) aux parcelles témoins (manioc seul).

7.2. Techniques

Interview, Observation, Questionnaire

7.3. Dispositif expérimental

Un dispositif expérimental en blocs complets randomisés (BCR) comportant quatre traitements et repris trois fois a été mis en place selon le schéma repris par la figure 2.4 ci-dessous.

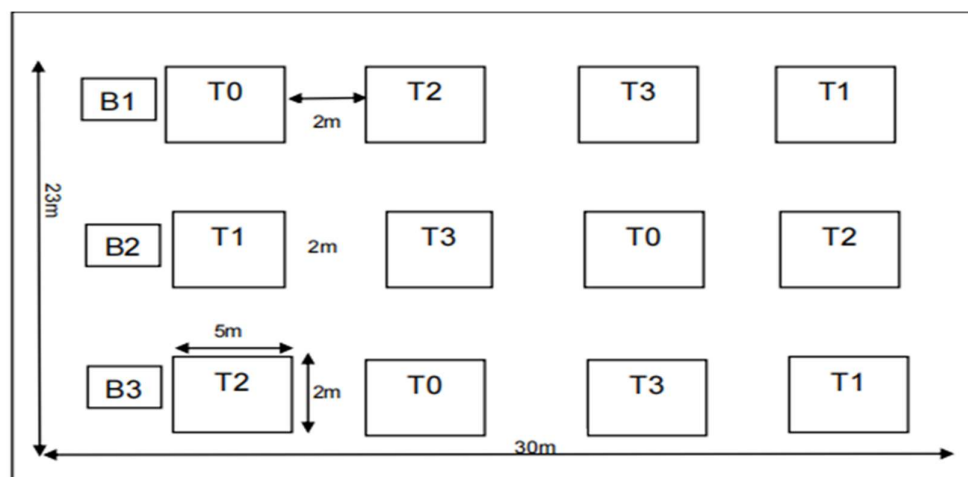


Figure 2.4. Schéma de dispositif expérimental en BCR

Légende :

- T0 = Manioc seul (traitement témoin) ;
- T1 = Acacia + Manioc ;
- T2 = Acacia + Manioc avec paillage (*Panicum maximum*) ;
- T3 = Acacia + Manioc avec fumure organique (*Thitonia diversifolia*).
- B1 = Bloc 1

- B2 = Bloc 2
- B3 = Bloc 3

7.4. Densité de plantation

La densité de plantation a été définie en fonction des exigences agronomiques des espèces étudiées :

- 1) *Manihot esculenta* (manioc) : Densité moyenne de 20 à 25 plants par parcelle, correspondant à un espacement standard de 1 m × 1 m.
- 2) *Acacia auriculiformis* : densité variable selon le traitement agroforestier, mais généralement comprise entre 10 et 12 plants par parcelle, afin d'éviter une compétition excessive avec le manioc.
- 3) Espacement Acacia–Manioc : Dans les parcelles agroforestières, les espèces ont été associées selon un système spatial organisé :
 - Espacement du manioc : 1 m × 1 m
 - Espacement de l'*Acacia auriculiformis* : 2 m × 2 m
- 4) Disposition adoptée : plantation en lignes alternées ou en quinconce afin de réduire la compétition pour la lumière, optimiser l'utilisation des nutriments et favoriser l'amélioration du microclimat.

7.5. Durée de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée sur une période de 6 mois (de septembre à février), couvrant un cycle complet de culture du manioc. Elle a été structurée en trois phases :

- 1) Phase d'installation (0–1 mois) : cette phase comprenait la préparation du terrain et la mise en place des plants.
- 2) Phase de croissance (1–5 mois) : elle comprenait le suivi des paramètres agronomiques et le prélèvement des sols pour les analyses édaphiques.
- 3) Phase de récolte et d'analyse (5-6 mois) : elle comprenait l'évaluation du rendement et les analyses statistiques.

7.6. Paramètres d'étude

- 1) Pour le manioc, les paramètres suivants ont été mesurés :

Diamètre au collet de la tige, Surface foliaire, Longueur de la tige, Nombre des racines tubéreuses par plant, Poids des racines tubéreuses par plant, Rendement.

- 2) Pour l'*Acacia*, les paramètres suivants ont été mesurés :

Longueur de tige, Nombre de branches.

- 3) Pour les sols, les paramètres suivant ont été analysés :

pH du sol, Azote total, Phosphore assimilable, Potassium, Calcium, Magnésium, Teneur en matière organique du sol (M.O.S), Carbone organique total (COT), Rapport carbone sur azote (C/N).

Il est à signaler que le prélèvement des sols a été fait avant et au cours de la croissance des cultures.

7.7. Méthode d'analyse statistique

Les données ont été saisies et organisées dans un tableur pour les différentes analyses statistiques descriptives. Elles ont été

encore soumises à une analyse de variance (ANOVA) afin de comparer les différentes moyennes observées. Complétées par un test de comparaison multiple (Test de Tukey) pour identifier les différences significatives entre les moyennes. Le seuil de signification retenu était de 5% ($p < 0.05$).

8. Présentation, Analyse Et Discussion Des Résultats

Le présent chapitre est consacré à la présentation, à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus dans le cadre de l'étude portant sur les impacts de l'agroforesterie en milieu rural en association avec *Acacia auriculiformis* et *Manihot esculenta* dans le village Kitangua, territoire de Tshikapa, province du Kasai, en République Démocratique du Congo.

8.1. PRESENTATION DES RESULTATS

8.1.1. Résultats de l'enquête réalisée auprès des agriculteurs

9. Cette section présente les résultats de l'enquête réalisée auprès des agriculteurs du village kitangua. Les données ont été recueillies au moyen d'un questionnaire administré à un échantillon représentatif des exploitants agricoles appartenant à différentes catégories d'âge et de niveaux d'expérience. Les informations collectées portent notamment sur les principales pressions anthropiques exercées sur les écosystèmes, telles que la déforestation, l'agriculture itinérante sur brûlis, la surexploitation des ressources naturelles et la réduction des périodes de jachère.

10. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux statistiques accompagnés d'une interprétation analytique. Cette démarche permet de mettre en évidence les tendances observées sur le terrain et de fournir des éléments objectifs pour la vérification des hypothèses de recherche ainsi que l'atteinte des objectifs de l'étude.

Tableaux 3.1. répartition des enquêtés selon l'âge

11. Tranche	12. Effectif	13. Pourcentage
14. 20 à 35 ans	15. 24	16. 48
17. 36 à 45 ans	18. 12	19. 24
20. 45 à 60 ans	21. 12	22. 24
23. Plus de 60 ans	24. 2	25. 4
26. Total	27. 50	28. 100

Source : Données de l'enquête de terrain, 2024

L'analyse du tableau 3.1. Montre que les agriculteurs âgés de 20 à 35 ans sont plus représentés soit 48 % suivis des tranches d'âge de 36 à 45 ans et de 46 à 60 (24 % chacune), tandis que les personnes de plus de 60 ans représentent 4% de l'échantillon. Cette répartition traduit une forte implication des adultes dans les activités agricoles, tout en garantissant une diversité d'expériences et de perception selon les générations.

Tableau 3.2. Option sur l'augmentation de la déforestation

Question : selon vous, la déforestation a-t-elle augmenté dans le village au cours dix dernières années ?

29. Réponse	30. Effectif	31. Pourcentage
32. Oui	33. 42	34. 84
35. non	36. 8	37. 16
38. Total	39. 50	40. 100

Source : Données de l'enquête de terrain, 2024

Les résultats indiquent que 84 % des enquêtés estiment que la déforestation s'est intensifiée au cours des dernières années contre seulement 16% qui ne partagent pas cet avis. Cette forte majorité révèle une prise de conscience généralisée de la dégradation du couvert forestier dans le village de kitangua.

Tableau 3.3. Principales causes de la déforestation

41. Cause	42. Effectif	43. Pourcentage
44. Agriculture itinérante sur brûlis	45. 25	46. 50
47. Fabrication de charbon	48. 15	49. 30
50. Bois de chauffe	51. 5	52. 10
53. Construction	54. 5	55. 10
56. Total	57. 50	58. 100

Source : Données de l'enquête de terrain, 2024

L'agriculture itinérante sur brûlis est identifiée comme principale cause de la déforestation par 50 % des enquêtés . Elle est suivis par la fabrication de charbon bois (15 %), le prélèvement du bois de chauffe (5 %) et les activités de construction (5 %). Ces résultats montrent que les activités humaines constituent les principaux facteurs de destruction des ressources forestières.

L'ensemble des résultats met en évidence que les écosystèmes du village de kitangua subissent une forte pression anthropique, principalement liée à la déforestation, à l'agriculture itinérante sur brûlis, à la surexploitation des ressources naturelles et à la réduction des périodes de jachère. Ces pratiques contribuent à la dégradation de la fertilité des sols, à la baisse des rendements agricoles et à la perturbation des équilibres écologiques.

8.1.2. Effet de l'association agroforestière sur la croissance du manioc

8.1.2.1. Diamètre au collet de tige

Les résultats en rapport avec le diamètre de tige sont présentés dans le tableau 3.1 ci-dessous.

Tableau 3.4. Diamètre au collet de la tige (cm)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	5,11	4,68	5,69	15,48	5,16±0,50b	9,82
T1	10,17	10,7	8,53	29,4	9,8±1,12ab	11,54
T2	16,52	9,3	9,37	35,19	11,73±4,14a	35,36
T3	12,59	11,43	12,51	36,53	12,17±0,64a	5,32

L'analyse du tableau 3.4 met en évidence une variation significative du diamètre au collet de la tige en fonction des traitements appliqués. Les traitements T3 ($12,17 \pm 0,64$ cm) et T2 ($11,73 \pm 4,14$ cm) présentent les valeurs moyennes les plus élevées et appartiennent au même groupe statistique (lettre *a*), ce qui indique l'absence de différence significative entre ces deux modalités. En revanche, le traitement témoin T0 ($5,16 \pm 0,50$ cm), classé dans le groupe *b*, enregistre la plus faible valeur, traduisant une croissance limitée en absence d'association agroforestière. Par ailleurs, le coefficient de variation (C.V) révèle une forte hétérogénéité pour le traitement T2 (35,36 %), suggérant une variabilité intra-traitement élevée, tandis que T3 présente une variabilité très faible (5,32 %), indiquant une bonne homogénéité des observations.

8.1.2.3. Surface foliaire

Les résultats en rapport avec la surface foliaire sont présentés dans le tableau 3.2 ci-dessous :

Tableau 3.5. Surface foliaire (mm²)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	272,52	202,85	163,61	638,98	212,99±55,1b	25,89
T1	567,79	528,44	514,98	1611,21	537,07±27,4a	5,10
T2	515,02	401,63	309,02	1225,67	408,55±103,1ab	25,25
T3	598,47	423,26	294,93	1316,66	438,88±152,3ab	34,71

Les résultats consignés dans le tableau 3.2 montrent que la surface foliaire est fortement influencée par les traitements. Le traitement T1 ($537,07 \pm 27,4$ mm²), classé dans le groupe *a*, présente la valeur la plus élevée et se distingue significativement du témoin T0 ($212,99 \pm 55,1$ mm²), classé *b*. Les traitements T2 et T3, appartenant au groupe intermédiaire (*ab*), n'affichent pas de différence statistiquement significative ni avec T1 ni avec T0. Le faible coefficient de variation observé pour T1 (5,10 %) indique une grande stabilité des mesures, contrairement à T3 (34,71 %), qui traduit une forte dispersion des données. Ces observations traduisent un effet positif de l'agroforesterie sur le développement foliaire, élément essentiel pour la photosynthèse. Une surface foliaire importante favorise une meilleure interception lumineuse et, par conséquent, une accumulation accrue de biomasse.

8.1.2.4. Longueur de la tige

Les résultats en rapport avec la longueur de la tige sont présentés par le tableau 3.6. ci-dessous.

Tableau 3.6. Longueur de la tige (cm)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	58,38	30,10	41,20	71,30	43,23±14,5b	32,96
T1	81,70	70,40	82,50	152,90	78,20±6,7a	8,65
T2	69,08	62,20	57,30	119,50	62,86±5,9ab	9,41
T3	82,75	56,20	70,10	126,30	69,68±13,2ab	19,06

Les éléments inscrits dans le tableau 3.3 révèlent que le traitement T1 ($78,20 \pm 6,7$ cm) présente la plus grande longueur de tige et se distingue significativement du témoin T0 ($43,23 \pm 14,5$ cm). Les traitements T2 et T3 occupent une position intermédiaire et ne diffèrent pas significativement des autres traitements. La variabilité relativement faible pour T1 (C.V = 8,65 %) contraste avec celle de T0 (32,96 %), indiquant une meilleure homogénéité dans les conditions agroforestières. Ces résultats confirment que l'association agroforestière améliore la croissance en hauteur du manioc, probablement en raison d'une amélioration des conditions édaphiques et microclimatiques.

8.1.3. Effet de l'association agroforestière sur la production du manioc

8.1.3.1. Nombre des racines tubéreuses par plant

Les résultats en rapport avec le nombre des racines tubéreuses par plant sont présentés dans le tableau 3.7 ci-dessous.

Tableau 3.7. Nombre des racines tubéreuses par plant

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	3	4	5	12	4,0±1,0b	25,0
T1	6	6	7	19	6,0±0,6ab	9,1
T2	6	6	9	21	7,0±1,7ab	24,7
T3	8	10	9	27	9,0±1,0a	11,1

Les éléments inscrits dans le tableau 3.4 indiquent que le traitement T3 ($9,0 \pm 1,0$) présente le nombre moyen de racines tubéreuses le plus élevé et appartient au groupe statistique *a*. Le traitement T0 ($4,0 \pm 1,0$), classé *b*, enregistre la plus faible valeur. Les traitements T1 et T2 occupent une position intermédiaire (*ab*), ce qui suggère une amélioration progressive du nombre de racines en fonction de l'intensité de l'association agroforestière. Ainsi, l'augmentation du nombre de racines tubéreuses observée dans les systèmes agroforestiers constitue un facteur déterminant de l'amélioration du rendement.

8.1.3.2. Poids des racines tubéreuses

Les résultats en rapport avec le poids des racines tubéreuses par plant sont présentés dans le tableau 3.8 ci-dessous.

Tableau 3.8. Poids des racines tubéreuses par plant (kg)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	2,3	2,1	2,5	6,9	2,3±0,2b	8,70
T1	4,3	4,2	4,4	12,9	4,3±0,1a	2,33
T2	4,4	4,2	4,3	12,9	4,3±0,1a	2,33
T3	4,5	4,6	4,8	13,9	4,6±0,15a	3,30

Les résultats inscrits dans le tableau 3.8 montrent que les traitements T1, T2 et T3 présentent des poids moyens similaires (4,3 à 4,6 kg) et appartiennent au même groupe statistique (*a*), indiquant une absence de différence significative entre eux. En revanche, le traitement T0 (2,3 ± 0,2 kg) est significativement inférieur (*b*). Les faibles coefficients de variation (<10 %) observés pour tous les traitements traduisent une bonne précision expérimentale. Ces résultats mettent en évidence que l'agroforesterie améliore significativement la production de biomasse racinaire.

8.1.3.3. Rendement

Les résultats en rapport avec le rendement en tubercules sont présentés dans le tableau 3.6 ci-dessous.

Tableau 3.9. Rendement (T/ha)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	2,76	3,36	5	11,12	3,71±1,16c	31,28
T1	10,32	10,08	12,32	32,72	10,91±1,23b	11,28
T2	10,56	10,08	15,48	36,12	12,04±2,99ab	24,82
T3	14,4	18,4	17,28	50,08	16,69±2,06a	12,36

L'analyse des données du tableau 3.9 révèle une augmentation significative du rendement en fonction des traitements. Le traitement T3 (16,69 ± 2,06 t/ha), classé *a*, présente la valeur la plus élevée, suivi de T2 (12,04 ± 2,99 t/ha) et T1 (10,91 ± 1,23 t/ha). Le témoin T0 (3,71 ± 1,16 t/ha) enregistre le rendement le plus faible (*c*). Ces différences traduisent une amélioration progressive du rendement sous l'effet de l'association agroforestière.

8.1.4. Effet de l'association agroforestière sur la croissance d'*Acacia auriculiformis*

8.1.4.1. Longueur de la plante

Les résultats en rapport avec la longueur de la plante d'*Acacia auriculiformis* en croissance sont présentés dans le tableau 3.10 ci-dessous.

Tableau 3.10. Longueur de la plante d'*Acacia auriculiformis* (cm)

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V (%)
	1	2	3			
T0	23,81	20	19,5	63,31	21,10±2,3	11,17
T1	36,33	26	15	77,33	25,78±10,6	41,38
T2	34,28	24	13	71,28	23,76±10,6	44,79
T3	24,66	28	15	67,66	22,55±6,7	29,93

L'analyse des éléments du tableau 3.10 montre que la longueur moyenne des plants d'*Acacia auriculiformis* varie en fonction des traitements, bien que les différences observées restent globalement modérées. Le traitement T1 (25,78 ± 10,6 cm) présente la valeur moyenne la plus élevée, suggérant un effet favorable de ce système agroforestier sur la croissance en hauteur de l'espèce. Il est suivi par T2 (23,76 ± 10,6 cm) et T3 (22,55 ± 6,7 cm), tandis que le témoin T0 (21,10 ± 2,3 cm) affiche la plus faible longueur moyenne. Bien que certains traitements (notamment T1) semblent favoriser la croissance en hauteur, la forte variabilité des données limite la robustesse statistique de ces différences. L'association agroforestière exerce un effet positif mais irrégulier sur la croissance en longueur d'*Acacia auriculiformis*, avec une réponse dépendante des conditions locales.

8.1.4.2. Nombre des branches

Les résultats en rapport avec le nombre des branches d'*Acacia auriculiformis* en croissance sont présentés dans le tableau 3.11 ci-dessous.

Tableau 3.11. Nombre des branches d'*Acacia auriculiformis*

Traitements	Répétitions			Somme	Moyenne	C.V(%)
	1	2	3			
T0	3	2	1	6	2±1,0	50,1
T1	4	3	3	10	3±1,0	17,3
T2	3	3	2	8	3±1,0	22,5
T3	4	5	2	11	4±2,0	42,1

Les données inscrites dans le tableau 3.11 mettent en évidence l'effet des traitements sur la ramification des plants d'*Acacia auriculiformis*, un paramètre important de la croissance architecturale. Le traitement T3 (4 ± 2,0 branches) présente la valeur moyenne la plus élevée, indiquant une meilleure capacité de ramification sous ce système agroforestier. Il est suivi des traitements T1 et T2 (3 ± 1,0 branches), tandis que le témoin T0 (2 ± 1,0 branches) affiche la valeur la plus faible. Malgré une tendance à l'augmentation du nombre de branches sous certains traitements (notamment T3), la variabilité élevée indique que la réponse des plants reste **hétérogène et influencée par des facteurs environnementaux**.

8.1.5. Effet de l'association agroforestière sur les paramètres édaphiques

Les résultats en rapport avec les paramètres édaphiques avant et après la plantation de manioc et d'acacia sont présentés dans le tableau 3.12 ci-dessous.

Tableau 3.12. Evolution des paramètres édaphiques avant et après la plantation

Paramètres édaphiques	Avant la plantation						Après la plantation						Ecart
	Traitements				Moyenne	C.V(%)	Traitements				Moyenne	CV (%)	
	T0	T1	T2	T3			T0	T1	T2	T3			
pH	4,9	4,4	4,8	4,7	4,7	1,24	4.9	5.8	5.7	5.7	5.5	0.8	0.82
N (mg/kg)	0.35	0.44	0.44	0.33	0,39	25.6	0.98	0.54	0.60	0.63	0.69	29.1	0.30
P (mg/kg)	0.26	0.18	0.28	0.42	0,29	1.75	0.26	0.45	0.44	0.58	0.43	30.2	0.15
K ⁺ (mg/kg)	0.02	0.01	0.01	0.01	0,01	40.0	0.02	0.12	0.14	0.18	0.12	59.3	0.10
Ca ²⁺ (mg/kg)	1.93	2.20	1.97	2.50	2,15	0.96	2.01	3.85	3.97	4.17	3.50	29.3	1.35
Mg ²⁺ (mg/kg)	0.04	0.08	0.07	0.04	0,06	21.8	0.06	0.77	0.87	1.13	0.71	65.7	0.65
Na ⁺ (mg/kg)	0.03	0.05	0.02	0.03	0,03	38.7	0.07	0.09	0.09	0.12	0.09	22.5	0.06
C.O.T (%)	5.43	4.63	5.40	2.20	4.42	65.1	5.68	7.23	7.27	8.91	7.27	18.2	2.86
C/N	13.17	10.46	7.86	6.71	9.55	13.8	16.13	14.19	17.70	21.83	17.46	19.3	7.91
M.O.S (%)	9.03	5.80	7.15	7.38	7.34	18.1	10.36	12.43	13.15	15.38	12.83	16.4	5.49

Légende : pH = potentiel d'hydrogène, N = azote, P = phosphore, K⁺ = potassium, Ca²⁺ = Calcium, Mg²⁺ = Magnésium, Na⁺ = Sodium, C.O.T = Carbone Organique Total, C/N= Rapport Carbone sur Azote, M.O.S = Matière Organique du Sol.

L'analyse comparative des paramètres du sol avant et après plantation (tableau 3.12) met en évidence une amélioration notable de la fertilité du sol. Le pH passe de 4,7 à 5,5, traduisant une réduction de l'acidité. De même, les teneurs en azote (0,39 à 0,69 mg/kg), en phosphore, ainsi qu'en bases échangeables (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) augmentent significativement. Par ailleurs, le carbone organique total (COT) et la matière organique du sol (MOS) enregistrent des hausses importantes, indiquant une amélioration de la structure et de la qualité biologique du sol. Ces résultats suggèrent que l'association avec les espèces ligneuses contribue à l'enrichissement du sol, notamment par l'apport de litière et la fixation biologique de l'azote.

8.1.6. Evolution moyenne des paramètres édaphiques avant et après la plantation

Les résultats en rapport avec l'évolution des paramètres édaphiques avant et après la plantation sont présentés dans le graphique 1 ci-dessous.

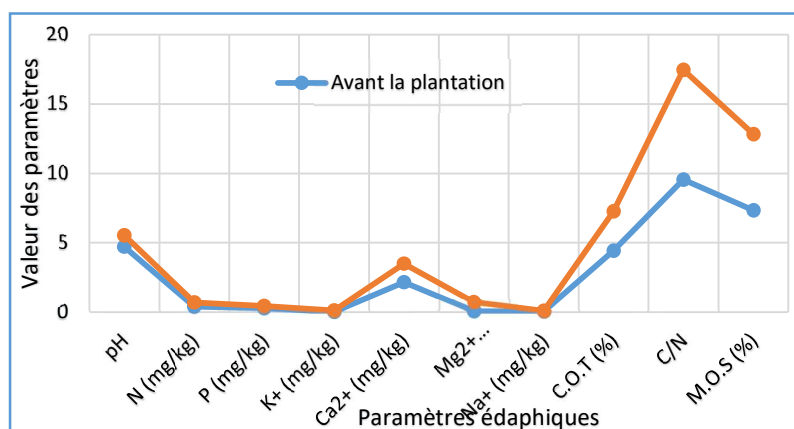


Figure 3.1. Evolution des paramètres édaphiques avant et après la plantation

L'analyse des éléments inscrits dans la figure 3.1 met en évidence une évolution significative des paramètres édaphiques du sol après la mise en place du système agroforestier associant le manioc à *Acacia auriculiformis*. De manière générale, les résultats montrent une amélioration globale de la fertilité du sol, traduite par l'augmentation de plusieurs indicateurs physico-chimiques essentiels.

Tout d'abord, le pH du sol présente une augmentation notable, passant d'un sol fortement acide à un niveau moins contraignant pour la disponibilité des éléments nutritifs. Cette évolution traduit une réduction de l'acidité, favorable à l'activité biologique du sol et à l'assimilation des nutriments par les plantes.

Ensuite, les teneurs en éléments nutritifs majeurs, notamment l'azote (N), le phosphore (P) et les bases échangeables (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) montrent une tendance générale à la hausse après la plantation. Cette amélioration peut être attribuée à plusieurs mécanismes écologiques propres aux systèmes agroforestiers : la fixation biologique de l'azote par certaines espèces ligneuses, l'apport de litière organique (feuilles, branches) et la minéralisation progressive de la matière organique.

Par ailleurs, l'augmentation du carbone organique total (COT) et de la matière organique du sol (MOS) constitue un indicateur majeur de l'amélioration de la qualité du sol. En effet, la matière organique joue un rôle central dans la structuration du sol, la rétention d'eau, la disponibilité des nutriments et l'activité microbienne.

De même, le rapport C/N augmente après la plantation, traduisant une accumulation de matière organique. Toutefois, un rapport C/N élevé peut ralentir la minéralisation de l'azote, ce qui suggère un équilibre dynamique entre stockage et disponibilité des nutriments.

8.1.7. Corrélation entre les paramètres

8.1.7.1. Corrélation entre les paramètres de la croissance et de la production du manioc

Les résultats en rapport avec la corrélation entre les paramètres de croissance et de la production de manioc sont présentés dans le tableau 3.13 ci-dessous.

Tableau 3.13. Corrélation entre les paramètres de croissance et de la production du manioc

	DT	SF	LT	NRT/P	PRT	RDT
DT	1					
SF	0,66	1				
LT	0,60	0,85	1			
NRT/P	0,58	0,30	0,35	1		
PRT	0,82	0,70	0,74	0,81	1	
RDT	0,68	0,43	0,49	0,98	0,89	1

Légende : DT = diamètre de tige, SF = surface foliaire, LT = longueur de la tige, NRT/P = nombre des racines tubéreuses par plant, PRT = poids des racines tubéreuses, RDT = rendement.

L'analyse du tableau de corrélation montre des relations positives entre les paramètres de croissance et de production. La corrélation très élevée entre le rendement et le nombre de racines tubéreuses ($r = 0,98$) indique que ce paramètre constitue le principal déterminant du rendement. De même, le rendement est fortement corrélé au poids des racines ($r = 0,89$), ce qui confirme que ces deux variables contribuent directement à la production. Par ailleurs, le diamètre de la tige présente une corrélation élevée avec le poids des racines ($r = 0,82$), suggérant une relation fonctionnelle entre la croissance végétative et la production.

8.1.7.2. Relation entre le nombre des racines tubéreuses et la teneur en azote organique

La relation entre le nombre des racines tubéreuse (NRT) et la teneur en azote est présentée par la figure 3.2. ci-dessous.

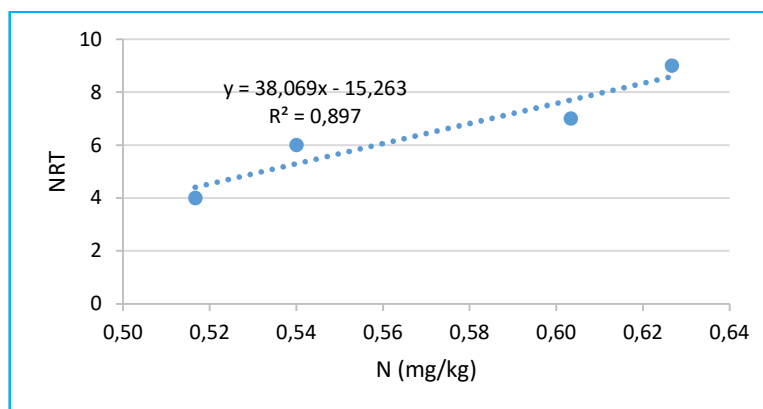


Figure 3.2. Relation entre le nombre des racines tubéreuses (NRT) et la teneur en azote du sol

Les données inscrites dans cette figure 3.2 montrent une augmentation progressive du nombre de racines tubéreuses lorsque la teneur en azote du sol augmente (de 0,52 à 0,63 mg/kg). Cette relation est de type linéaire croissante. Le coefficient de détermination élevé (89,7 %) indique que près de 90 % de la variation du nombre de racines tubéreuses est expliquée par la teneur en azote du sol. Cela confirme une relation linéaire très forte, montrant que l'azote joue un rôle déterminant dans l'initiation des racines. C'est-à-dire qu'une augmentation de 0,1 mg/kg d'azote entraîne une augmentation notable du nombre de racines. Par conséquent, l'azote est un facteur déterminant de l'initiation des racines tubéreuses.

8.1.7.3. Relation entre le poids des racines tubéreuses et la teneur en azote organique

La relation entre le poids des racines tubéreuse (PRT) et la teneur en azote est présentée par la figure 3.3 ci-dessous

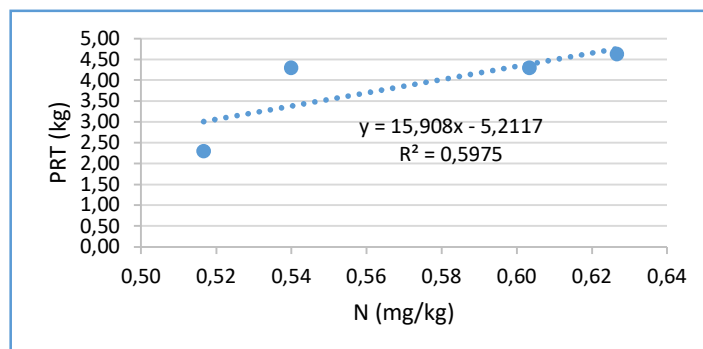


Figure 3.3. Relation entre le poids des racines tubéreuses (PRT) et la teneur en azote organique

Les résultats inscrits dans cette figure 3.3 montrent une relation linéaire positive entre le poids des racines et la teneur en azote du sol. Le coefficient de détermination ($R^2=0.59$) indique que l'augmentation de l'azote améliore la biomasse des racines. L'azote agit ici sur le remplissage et le grossissement des tubercules et il joue un rôle clé dans l'accumulation de biomasse racinaire.

8.1.7.4. Relation entre le rendement en racines tubéreuses et la teneur en azote organique

La relation entre le rendement des racines tubéreuse (RDT) et la teneur en azote est présentée par la figure 3.4. ci-dessous

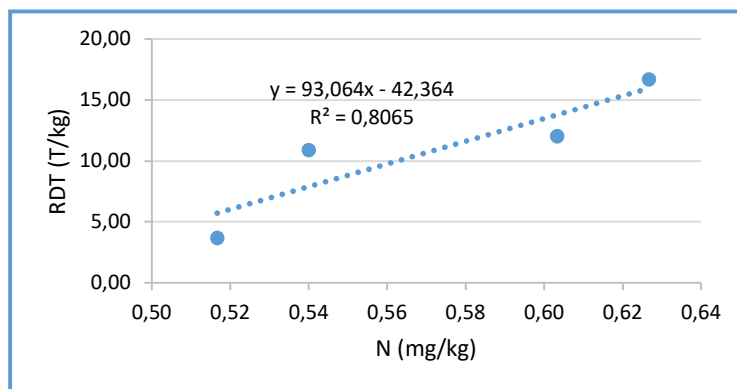


Figure 3.4. Relation entre le rendement (RDT) et la teneur en azote du sol

Les données inscrites dans cette figure montrent que la relation entre le rendement et l'azote est fortement linéaire et croissante. Le coefficient de détermination (80,6 %) indique une relation linéaire forte entre l'azote et le rendement. C'est qui montre que l'azote influence simultanément plusieurs composantes du rendement, notamment le nombre et le poids des racines tubéreuses.

8.1.7.5. Relation entre le poids des racines tubéreuses (PRT) et le rapport carbone sur azote (C/N)

La relation entre le poids des racines tubéreuse (PRT) et le rapport C/N est présentée par la figure 3.5. ci-dessous.

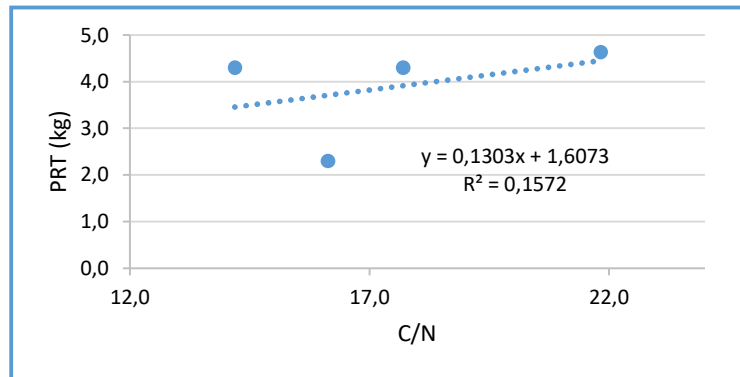


Figure 3.5. Relation entre le poids des racines tubéreuses (PRT) et le rapport C/N du sol

Les résultats inscrits dans cette figure 3.5 montrent une relation globalement positive entre le rapport C/N et le poids des racines. Le coefficient de détermination très faible (15,7 %) indique une relation faible aussi entre le rapport C/N et le poids des racines. C'est qui revient à dire qu'une augmentation du rapport C/N favorise une amélioration progressive du poids des racines. Toutefois, un rapport C/N trop élevé peut ralentir la minéralisation de l'azote dans le sol.

8.1.7.6. Relation entre le poids des racines tubéreuses (PRT) et la teneur en matière organique du sol (MOS)

La relation entre le poids des racines tubéreuse (PRT) et la teneur en matière organique du sol est présentée par la figure 3.6. ci-dessous.

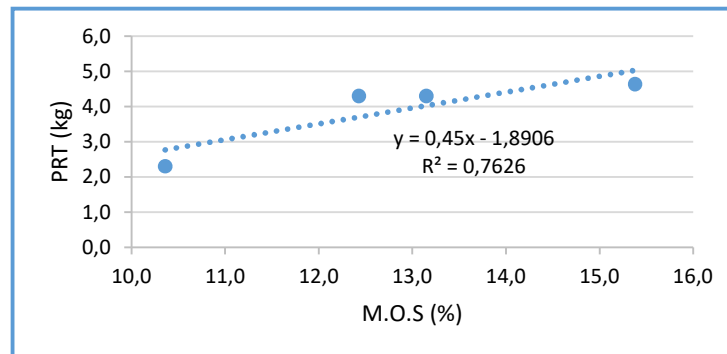


Figure 3.6. Relation entre le poids des racines tubéreuses (PRT) et la teneur en matière organique du sol (M.O.S)

Les données inscrites dans cette figure 3.6 montrent une relation linéaire positive entre la matière organique du sol et le poids des racines. Le coefficient de détermination (76,2 %) indique une relation forte. Cela confirme que la M.O.S améliore la fertilité globale du sol en favorisant directement la production racinaire. Elle constitue, par conséquent, un facteur fondamental de la fertilité et de la productivité.

8.2. Discussion

1) Effet de l'agroforesterie sur la croissance du manioc

Les résultats obtenus montrent une amélioration significative des paramètres de croissance du manioc (diamètre au collet, surface foliaire et longueur de la tige) sous l'effet des traitements agroforestiers. Cette observation est cohérente avec les principes écologiques de l'agroforesterie, qui favorisent les interactions positives entre les espèces cultivées et les espèces ligneuses (Nair, 1993).

L'augmentation du diamètre au collet observée dans les traitements T2 et T3 traduit une meilleure vigueur végétative. Ce paramètre est généralement considéré comme un indicateur fiable de la croissance globale des plantes, car il reflète l'accumulation de biomasse structurale (Atangana *et al.*, 2014). L'amélioration de ce paramètre peut être attribuée à une meilleure disponibilité en nutriments, notamment l'azote, ainsi qu'à une amélioration des conditions hydriques du sol.

De même, la surface foliaire, significativement plus élevée dans le traitement T1, indique une augmentation de la capacité photosynthétique. La Photosynthèse est directement liée à la surface foliaire, car elle détermine la capacité d'interception lumineuse et la production de biomasse (Taiz *et al.*, 2015). Dans les systèmes agroforestiers, la présence d'arbres peut créer un microclimat favorable en réduisant les températures extrêmes et en améliorant l'humidité relative, ce qui stimule le développement foliaire (Jose, 2009).

En outre, l'augmentation de la longueur de la tige observée dans les traitements agroforestiers confirme l'effet positif de ces systèmes sur la croissance verticale. Selon Schroth *et al.* (2004), les systèmes agroforestiers améliorent la structure du sol et favorisent l'enracinement, ce qui permet une meilleure absorption de l'eau et des nutriments. Ces résultats confirment que l'agroforesterie améliore significativement la croissance du manioc en optimisant les conditions édaphiques et microclimatiques.

2) Effet de l'agroforesterie sur la production du manioc

Les résultats relatifs à la production du manioc montrent une augmentation significative du nombre de racines tubéreuses, du poids des racines et du rendement dans les systèmes agroforestiers.

Le nombre de racines tubéreuses est un facteur déterminant du rendement, comme en témoigne la corrélation très élevée observée ($r = 0,98$). Ce résultat est en accord avec les travaux de Howeler (2014), qui soulignent que le rendement du manioc dépend principalement du nombre et du poids des racines.

L'augmentation du poids des racines dans les traitements agroforestiers peut être liée à une meilleure disponibilité en nutriments, notamment l'azote. L'azote joue un rôle clé dans la croissance des plantes, en favorisant la synthèse des protéines et le développement des tissus végétaux (Marschner, 2012).

Le rendement, significativement plus élevé dans le traitement T3, confirme que l'agroforesterie améliore la productivité du manioc. Cette amélioration peut être attribuée à plusieurs facteurs : l'enrichissement du sol en matière organique, l'amélioration de la structure du sol et une meilleure rétention d'eau. Selon Lal (2004), l'augmentation de la matière organique du sol améliore la capacité de rétention en eau et la disponibilité des nutriments, ce qui favorise la production agricole.

3) Effet de l'agroforesterie sur la croissance d'*Acacia auriculiformis*

Les résultats relatifs à la croissance d'*Acacia auriculiformis* montrent des variations moins marquées que celles observées pour le manioc. Bien que certains traitements (notamment T1 et T3) présentent des valeurs plus élevées, la forte variabilité des données limite la portée des conclusions.

Cette variabilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs. D'une part, les espèces ligneuses comme *Acacia auriculiformis* présentent une croissance plus lente et plus dépendante des conditions environnementales (Kang *et al.*, 1990) et d'autre part, la compétition pour les ressources (eau, lumière, nutriments) peut affecter leur développement dans les systèmes agroforestiers (Ong *et al.*, 1996).

Cependant, *Acacia auriculiformis* est une espèce connue pour sa capacité de fixation biologique de l'azote, ce qui contribue à l'amélioration de la fertilité du sol (Dommergues *et al.*, 1999). Cette fonction écologique explique en partie les effets positifs observés sur le manioc. L'agroforesterie influence la croissance d'*Acacia auriculiformis*, mais de manière variable, en raison de sa sensibilité aux conditions environnementales.

4) Effet de l'agroforesterie sur les paramètres édaphiques

Les résultats obtenus montrent une amélioration significative des paramètres édaphiques après la mise en place du système agroforestier. L'augmentation du pH traduit une réduction de l'acidité du sol, ce qui favorise la disponibilité des nutriments. Selon Brady et Weil (2016), le pH du sol influence directement la solubilité des éléments nutritifs et l'activité microbienne. L'augmentation des teneurs en azote, phosphore et bases échangeables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) indique une amélioration de la fertilité chimique du sol. Cette amélioration est liée à la décomposition de la litière végétale et à la fixation biologique de l'azote.

L'augmentation du carbone organique total et de la Matière organique du sol constitue un indicateur clé de la qualité du sol. La matière organique joue un rôle fondamental dans la structuration du sol, la rétention d'eau et la disponibilité des nutriments (Lal, 2004).

5) Analyse des corrélations et relations linéaires

Les résultats de corrélation montrent des relations positives entre les paramètres de croissance et de production du manioc. La corrélation très élevée entre le rendement et le nombre de racines confirme que ce paramètre est le principal déterminant du rendement. De même, les corrélations élevées entre le poids des racines et le rendement, ainsi qu'entre le diamètre de la tige et le poids des racines, indiquent une forte interdépendance entre les paramètres morphologiques et productifs.

Les relations linéaires avec les paramètres édaphiques montrent que l'azote et la matière organique sont des facteurs déterminants de la production. Selon Sanchez (2019), la fertilité du sol est le principal facteur limitant de la production agricole en Afrique subsaharienne. La productivité du manioc dépend fortement de la fertilité du sol, en particulier de la disponibilité en azote et en matière organique.

Les résultats obtenus confirment que l'agroforesterie constitue une stratégie efficace pour améliorer la productivité agricole et restaurer la fertilité des sols. L'association manioc-*Acacia auriculiformis* apparaît comme une approche durable adaptée aux conditions écologiques du Kasaï.

Conclusion Et Recommandations

La présente étude avait pour objectif principal d'évaluer les impacts écosystémiques de l'agroforesterie associant le manioc à *Acacia auriculiformis* dans la cité de Kitangua, territoire de Tshikapa, province du Kasaï, en République Démocratique du Congo.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence des effets significatifs de ce système agroforestier sur la croissance et la production du manioc, ainsi que sur les propriétés édaphiques du sol.

Sur le plan agronomique, l'association agroforestière a entraîné une amélioration notable des paramètres de croissance du manioc, notamment le diamètre au collet, la surface foliaire et la longueur de la tige. Ces résultats traduisent une meilleure vigueur végétative des plants en conditions agroforestières, liée à une optimisation des conditions environnementales.

En ce qui concerne la production, les traitements agroforestiers ont permis d'augmenter significativement le nombre de racines tubéreuses, le poids des racines et le rendement. Le traitement T3 s'est particulièrement distingué par ses performances élevées, confirmant ainsi l'effet positif de l'intensification de l'association agroforestière. L'analyse des corrélations a montré que le rendement est fortement dépendant du nombre et du poids des racines, mettant en évidence l'importance de ces paramètres dans la productivité du manioc.

Par ailleurs, les résultats relatifs à la croissance d'*Acacia auriculiformis* ont révélé une réponse plus variable, caractérisée par une certaine hétérogénéité. Toutefois, cette espèce joue un rôle écologique essentiel dans le système, notamment à travers sa capacité à améliorer la fertilité du sol.

En effet, l'analyse des paramètres édaphiques a montré une amélioration significative de la qualité du sol après la mise en place du système agroforestier. L'augmentation du pH, des teneurs en éléments nutritifs (azote, phosphore, bases échangeables), ainsi que du carbone organique total et de la matière organique du sol, témoigne d'un enrichissement progressif du sol. Ces améliorations sont attribuables à des processus écologiques tels que la décomposition de la litière, la minéralisation de la matière organique et la fixation biologique de l'azote.

De plus, l'analyse des relations entre les paramètres a mis en évidence le rôle déterminant de la fertilité du sol, en particulier de l'azote et de la matière organique, dans la production du manioc. Les coefficients de détermination élevés obtenus pour certaines relations confirment la forte dépendance de la productivité agricole vis-à-vis des conditions édaphiques.

Au regard de l'ensemble de ces résultats, il ressort que l'agroforesterie constitue une stratégie efficace pour améliorer durablement la productivité agricole tout en contribuant à la restauration de la fertilité des sols. L'association manioc-*Acacia auriculiformis* apparaît ainsi comme une pratique pertinente et adaptée aux conditions agro-écologiques du Kasaï.

Au terme de cette étude, nous recommandons :

- Aux agriculteurs d'adopter les systèmes agroforestiers intégrant des espèces fertilisantes comme *Acacia auriculiformis*, de privilégier les traitements les plus performants ;
- Aux chercheurs d'approfondir les études sur les interactions sol-plante dans les systèmes agroforestiers et d'évaluer les effets à long terme de ces systèmes
- Aux décideurs, de promouvoir l'agroforesterie comme stratégie de gestion durable des terres et d'accompagner les agriculteurs à travers des programmes de vulgarisation

Pour compléter cette étude, il serait intéressant de :

- réaliser des analyses sur plusieurs cycles culturels ;
- étudier d'autres espèces agroforestières adaptées au milieu ;
- intégrer des paramètres socio-économiques afin d'évaluer la rentabilité du système.

Références

- [1]. Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. Westview Press.
- [2]. Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., & Degrande, A. (2014). *Tropical agroforestry*. Springer.
- [3]. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- [4]. Dommergues, Y. R., Diem, H. G., & Dreyfus, B. L. (1999). Nitrogen fixation in tropical agroforestry systems. *Plant and Soil*, 108, 199–209.
- [5]. Dupriez, H., & De Leener, P. (2005). *Agriculture tropicale en milieu paysan africain*. CTA.
- [6]. FAO. (2015). *Agroforestry for sustainable development*. FAO Forestry Paper.
- [7]. Garrity, D. P. (2004). Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems*, 61, 5–17.
- [8]. Howeler, R. (2014). *Sustainable soil and crop management of cassava in Asia*. CIAT.
- [9]. Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1–10.
- [10]. Kang, B. T., Reynolds, L., & Atta-Krah, A. N. (1990). Alley farming. *Agronomy Journal*, 82(5), 1019–1029.
- [11]. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change. *Science*, 304(5677), 1623–1627.
- [12]. Lal, R. (2019). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 11(1), 45–57.
- [13]. Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- [14]. Mbow, C., Van Noordwijk, M., Luedeling, E., Neufeldt, H., Minang, P. A., & Kowero, G. (2014). Agroforestry solutions to address climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 61–67.
- [15]. Nair, P. K. R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers.
- [16]. Ong, C. K., & Huxley, P. (1996). *Tree-crop interactions: A physiological approach*. CAB International.
- [17]. Sanchez, P. A. (2019). *Properties and management of soils in the tropics*. Cambridge University Press.
- [18]. Schroth, G., da Fonseca, G. A. B., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., & Izac, A. M. N. (2004). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press.
- [19]. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Sinauer Associates.
- [20]. World Agroforestry Centre. (2018). *Agroforestry for sustainable agriculture*. ICRAF.