



Impact de l'inoculation microbienne sur la croissance et la nutrition minérale de deux légumineuses à usage fourrager

Oumy Sarr Ndoye^{1,2}, Adama Diouf^{1,2*}, Malick Ndiaye², Ndiogou Gueye², Ramatoulaye Thiaba Samba-Mbaye¹, Cheikh Ndiaye^{1,2}, Mame Arama Fall-Ndiaye² et Aboubacry Kane^{1,2}

¹Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM) IRD/ISRA/UCAD, Centre de recherche de Bel Air, B.P. 1386, Dakar Sénégal.

²Laboratoire de Biotechnologies des Champignons (LBC), Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques Université Cheikh Anta Diop B.P 5005, Dakar, Sénégal

* Correspondence: adama1.dionf@ucad.edu.sn

Mots-clés : Champignon mycorhizien arbusculaire, PGPR, rhizobium, légumineuse fourragère

Keywords : Arbuscular mycorrhizal fungus, PGPR, Rhizobium, forage legume.

Submitted 01/06/2026, Published online on 31st August 2026 in the [Journal of Animal and Plant Sciences \(J. Anim. Plant Sci.\) ISSN 2071 – 7024](#)

1 RESUME

En Afrique de l'Ouest, l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sont les principales légumineuses cultivées aussi bien pour l'alimentation humaine qu'animale. En effet, leurs fanes riches en protéines constituent un fourrage très prisé par le bétail durant la saison sèche. Cependant, leur rendement demeure insuffisant du fait de la faible fertilité des sols. Cette étude a été initiée pour contribuer à l'amélioration de la production fourragère en exploitant le potentiel des légumineuses à entretenir des relations bénéfiques avec les microorganismes du sol. Pour ce faire, un dispositif expérimental en blocs complets randomisés de Fisher comprenant trois répétitions a été mis en place. Les traitements ont inclus quatre types de biofertilisants : rhizobium (R), plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), champignon mycorhizien à arbuscules (CMA) et un mixte R-PGPR-CMA. Un témoin positif et un témoin absolu ont servi de références. Les six traitements ont été appliqués aux variétés 58-74 de niébé et Fleur 11 d'arachide. Les résultats ont montré une augmentation significative de la biomasse aérienne des plants de 112% et 69% respectivement sous l'effet des inocula mycorhizien chez l'arachide et mixte chez le niébé par rapport au témoin absolu. Les PGPR ont également entraîné une amélioration significative des biomasses aérienne et racinaire sèches chez les deux variétés cultivées. L'évaluation de la nutrition minérale a révélé que les traitements CMA et rhizobium ont induit les effets positifs les plus significatifs respectivement sur les teneurs en azote et en calcium. Les inoculations microbiennes ont amélioré la production de biomasses des deux légumineuses et leur teneur en éléments minéraux dont leur impact sur la qualité du fourrage est en cours d'étude.

Impact of Microbial Inoculation on the Growth and Mineral Nutrition of Two Forage Legumes

ABSTRACT

In West Africa, groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) are the main legumes cultivated for both human and animal consumption. Indeed, their protein-rich hays are a highly valued fodder for livestock during the dry season. However, their yield remains low due to poor soil fertility. This study was initiated to contribute to improving forage production by harnessing the potential of legumes to maintain beneficial relationships with soil microorganisms. To this end, a Fisher's randomized complete block experimental design with three replications was established. The treatments included four types of biofertilizers: rhizobium (R), plant growth promoting rhizobacteria PGPR, arbuscular mycorrhizal fungus (AMF), and a mixed R-PGPR-AMF formulation. A positive control and an absolute control served as references. The six treatments were applied to the cowpea variety 58-74 and the peanut variety Fleur 11. The results showed a significant increase in the above-ground biomass of the plants by 112% and 69%, respectively, under the effect of mycorrhizal inoculants in peanuts and the mixed treatment in cowpeas compared to the absolute control. PGPRs also led to a significant improvement in dry above-ground and root biomass in both cultivated varieties. The evaluation of mineral nutrition revealed that the AMF and rhizobium treatments induced the most significant positive effects on nitrogen and calcium contents, respectively. Microbial inoculations improved biomass production in both legumes and their mineral content, and their impact on forage quality is currently being investigated.

2 INTRODUCTION

L'élevage constitue l'une des principales activités économiques en Afrique de l'ouest. Au Sénégal, il représente 27,9% du Produit Intérieur Brut agricole et implique environ 60% des ménages agricoles (Orounladji *et al.*, 2025 ; ANSD, 2025). L'élevage constitue un secteur stratégique majeur de l'économie nationale. Il joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et participe aux moyens de subsistance, surtout en milieu rural. Cependant, malgré son importance, l'élevage sénégalais est essentiellement de type pastoral et demeure donc fluctuant au gré des variations climatiques (CORAF, 2022). Il dépend fortement de la saisonnalité, de la disponibilité de l'eau et du fourrage (Ouattara *et al.*, 2024). Durant la saison des pluies, les pâturages, bien que de qualité moindre sont disponibles et permettent de couvrir les besoins énergétiques essentiels au bon fonctionnement des systèmes pastoraux. Cependant dès l'installation de la saison sèche, la dégradation des ressources naturelles accentue les problèmes

liés à l'alimentation du bétail, constituant ainsi un frein majeur au développement de l'élevage. Bien qu'utilisées dans les élevages agropastoraux pour améliorer l'alimentation des ruminants, les fanes de légumineuses ne suffisent pas à résoudre le déficit fourrager durant la saison sèche (Somda *et al.*, 2024). Leurs faibles rendements s'expliquent par plusieurs facteurs, parmi lesquels la faible teneur en nutriments des sols qui constitue selon Nord *et al.* (2022) l'une des principales contraintes à la productivité agricole au Sahel. Dans ce contexte, les agriculteurs disposant de ressources financières suffisantes privilégient souvent l'intensification de leurs systèmes de culture via l'usage des engrais chimiques (Dugue, 2022). Si l'efficacité de ces intrants de synthèse sur le rendement des cultures a été largement démontrée, leur coût élevé et leurs effets néfastes sur l'environnement orientent les recherches vers une intensification durable de l'agriculture. Cette approche vise à répondre aux besoins alimentaires croissants des

populations tout en limitant les impacts environnementaux. Dans cette optique, la promotion des biotechnologies microbiennes basées sur les interactions bénéfiques entre les plantes et les microorganismes du sol apparaît comme une option stratégique majeure. D'ailleurs, plusieurs études menées en condition contrôlée et en milieu réel ont mis en évidence l'efficacité de ces associations sur la productivité des cultures (Diouf *et al.*, 1999; Djiba *et al.*,

2025). L'objectif de cette étude est de contribuer au développement de pratiques agroécologiques durables permettant d'augmenter la production de fourrage tant en qualité qu'en quantité. Plus spécifiquement, il s'agit d'évaluer l'impact des inocula microbiens sur la biomasse et la nutrition minérale de l'arachide et du niébé, et de comparer les performances agronomiques des biofertilisants à celles de l'engrais minéral.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Site d'étude : Le site expérimental est situé dans la commune de Darou Mousty, rattachée au département de Kebemer, région de Louga, au nord-ouest du Sénégal (Figure 1). Cette commune appartient à la zone agroécologique du Bassin arachidier. Elle est caractérisée par un climat sahélien, marqué par une courte saison des pluies (de juillet à

septembre) et une longue saison sèche. La pluviométrie y est faible à moyenne et varie entre 300 à 500 mm par an. Dans cette zone, l'agriculture et l'élevage des ruminants occupent une place importante dans la vie de la population. Les caractéristiques physico-chimiques du sol du site sont présentées dans le Tableau 1.

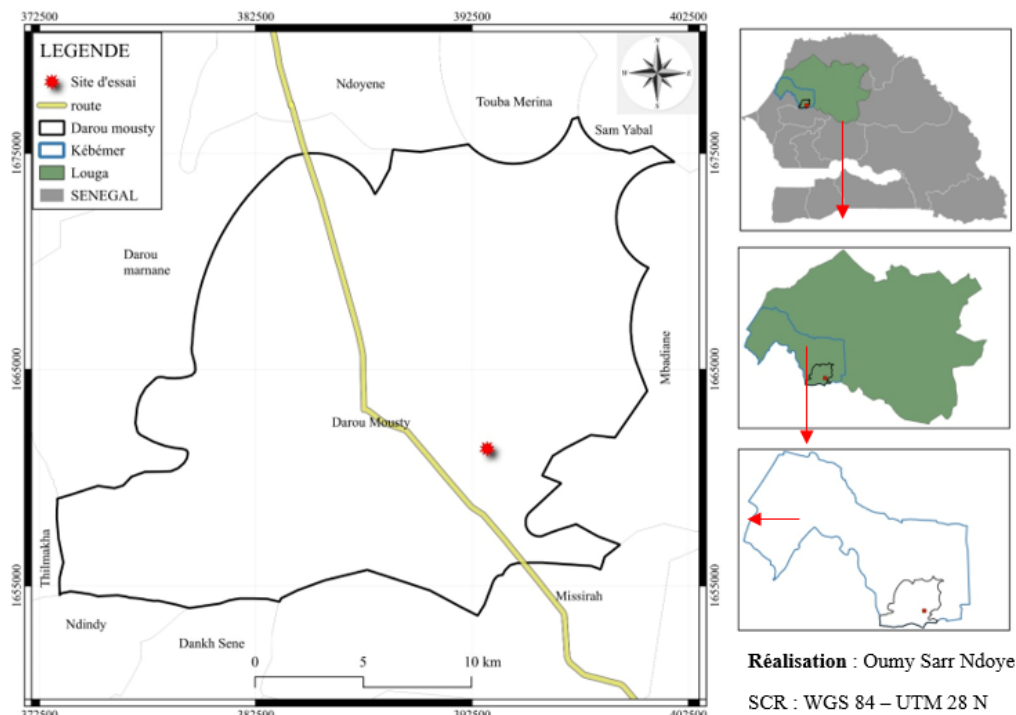


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Tableau 1: Caractéristiques physico- chimiques du sol de la zone d'étude

Paramètres évalués	Moyenne
Argile (%)	17,5
Limon (%)	10
Sable (%)	72,5
pH _{eau}	5,87
Carbone (%)	0,28
Azote (%)	0,03
Rapport C/N	7,55
Matière organique (%)	0,48
Phosphore (ppm)	7,71

3.2 Matériel végétal : Les semences d'arachide et de niébé ont été fournies par les services semenciers de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), l'arachide par le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambey et le niébé par le Centre de Recherche Zootechnique (CRZ) de Dahra. Pour l'arachide, les semences de la variété Fleur 11 ont été utilisées. Cette variété est caractérisée par son haut rendement, sa résistance à la sécheresse et son cycle de développement court (Zaiya, 2018). Dans les meilleures conditions de cultures, elle produit une quantité importante de fanes, propices à l'alimentation animale. En revanche, la variété 58-74 du niébé est une variété spécifiquement sélectionnée pour la production de fourrage (Sow *et al.*, 2020), contrairement à la variété Fleur 11 de l'arachide.

3.3 Matériel microbien : Le matériel microbien utilisé est constitué de souches de rhizobiums (R), de rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) et de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ces souches ont été sélectionnées sur la base de leur capacité à améliorer la croissance des plantes (Krasova-Wade *et al.*, 2003 ; Zaiya, 2018). Elles proviennent de la collection du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM/IRD-ISRA-UCAD).

3.4 Production d'inoculum : Pour chaque spéculation, un inoculum mixte de rhizobiums a été produit. Pour la culture de l'arachide, l'inoculum était composé d'un mélange des souches ISRA 400 - ISRA 534 - ISRA 422. Pour la culture du niébé, il s'agissait d'un mélange des

souches LCM 3682 - ORS 3257 -ORS 4767. Les souches de PGPR utilisées sont RB 21, RB 25 et RB 134. Les inocula liquides de rhizobiums et de PGPR produits dans leurs milieux de culture spécifiques (Vincent 1970) ont été injectés à l'aide d'une seringue dans des sachets contenant de la tourbe préalablement stérilisée. L'inoculum bactérien ainsi conditionné a été conservé à température ambiante. L'inoculum mycorhizien est constitué de quatre souches : *Glomus intraradices*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus mossea* et *Glomus etinucatum*. Il est produit par culture du maïs, une plante mycotrophe, sur du sable grossier stérile. L'inoculum final est un mélange de sable contenant des hyphes, des spores et des fragments de racines mycorhizées.

3.5 Dispositif expérimental: L'étude a été conduite selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés de Fisher comportant six traitements et trois répétitions. Les traitements ont comporté quatre types de biofertilisants : rhizobium (R), PGPR, CMA appliqués seul et un mélange des trois espèces microbiennes c'est à dire rhizobium, PGPR et CMA (R - PGPR - CMA). Un traitement correspondant à l'engrais chimique N-P-K de formule 6-20-10 (appliquée à la dose 100 kg/ha), et un contrôle absolu (T0) ont servi de référence. Ces six traitements ont été appliqués à la culture de la variété 58-74 de niébé et de la variété Fleur 11 d'arachide. Les blocs ont été répétés trois fois pour chaque spéculation. Les semis ont été effectués après la deuxième pluie utile de la zone d'étude. L'inoculum bactérien, conditionné sur un support solide a été appliqué par la technique

d'enrobage des semences. L'inoculum de CMA a été appliqué à raison de 10 g par poquet. Après le semis, les cultures étaient laissées aux conditions naturelles du milieu. Le suivi et l'entretien des essais ont été effectués manuellement, par des opérations de désherbage et de binage. Aucun autre traitement fertilisant ou phyto-protecteur n'a été appliqué durant l'expérimentation. Une pratique d'inoculation n'a jamais été effectuée dans le site d'étude.

3.6 Paramètres de croissance et analyses chimiques: Le diamètre au collet a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. Après la récolte, les parties aérienne et racinaire des plants ont été séparées, puis séchées à l'étuve à 70 °C pendant 72 h afin de déterminer leurs poids de matières sèches. L'intensité et la fréquence de mycorhization des plants ont été déterminées selon la méthode de (Trouvelot *et al.*, 1986). Les

concentrations en azote, phosphore, potassium et calcium de la biomasse aérienne des plants d'arachide et de niébé ont été déterminées au niveau du Centre de Recherche Agricole (CRA) de l'ISRA à Saint-Louis.

3.7 Analyse statistique: Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel RStudio R×64 4.2.0. Après vérifications de la normalité des données, une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur, suivie du test de Newman Keuls au seuil de 5% a été réalisée pour la séparation des moyennes des traitements. Lorsque les données ne suivaient pas une loi normale, le test alternatif Kruskal Wallis a été appliqué, accompagné de comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn.

4 RÉSULTATS

4.1 Effet des biofertilisants sur la culture de l'arachide

4.1.1 Sur les paramètres de mycorhization : La Figure 2 (2A et 2B) représente la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants d'arachide en fonction de la fertilisation. L'analyse des résultats selon le test de Newman Keuls au seuil de 5% montre une variation significative entre les traitements. Les plants inoculés avec les champignons mycorhiziens ont présenté la fréquence de mycorhization la plus élevée ($37,25 \pm 3,61$), significativement

supérieure à celles obtenues par tous les autres traitements. Les traitements Mixte et rhizobium seul ont produit des valeurs significativement plus élevées que celles des témoins négatif et positif. Pour l'intensité de mycorhization, le traitement CMA a produit la valeur la plus élevée ($4,12 \pm 0,57$) suivi du traitement mixte ($2,92 \pm 0,50$), significativement supérieure à celle des traitements témoins. En revanche, la fertilisation minérale des plants a entraîné une diminution de l'intensité de mycorhization comparable aux plants témoins non fertilisés.

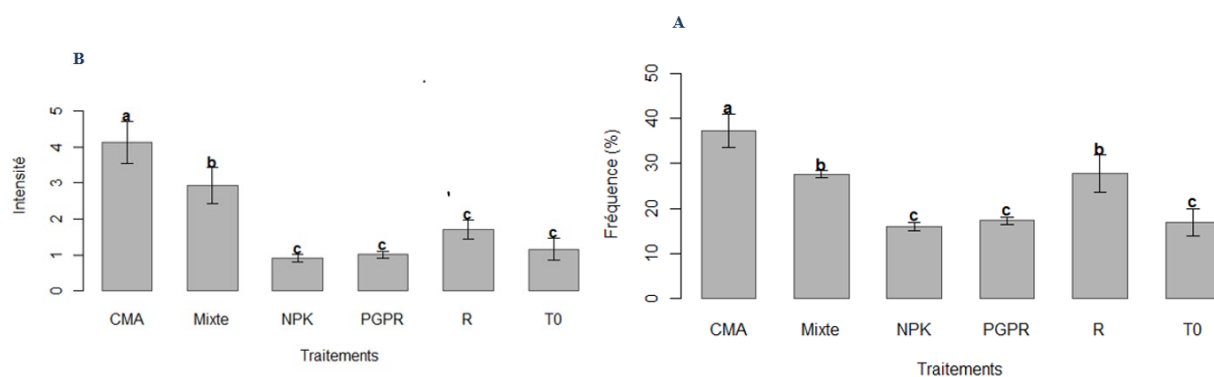


Figure 2 : Variation de la fréquence (A) et de l'intensité (B) de mycorhization des plants d'arachide en fonction de la fertilisation

4.1.2 Sur les paramètres de croissance et de rendement : L'analyse de la variance à un facteur suivi du test de comparaison des moyennes de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% montre que le diamètre au collet et les biomasses aérienne et racinaire sèches des plants d'arachide varient significativement en fonction des différents traitements fertilisants (Tableau 2). Les plants fertilisés avec les CMA ont présenté la valeur moyenne de diamètres au collet la plus élevée ($6,99 \pm 0,92$), significativement différente de celle du témoin absolu. Le traitement mycorhize a entraîné la production de biomasse

racinaire sèche la plus importante, correspondant à une augmentation de la biomasse aérienne de 23% et de 112% respectivement par rapport aux témoins positif et négatif. L'inoculation des plants avec les souches de PGPR a également amélioré la biomasse aérienne de 72% par rapport au témoin absolu. Les plants inoculés avec les PGPR seules et ceux inoculés avec le mixte R-PGPR-CMA ont aussi montré des augmentations significatives de biomasse racinaire par rapport au témoin absolu.

Tableau 2 : Diamètre au collet et biomasses aérienne et racinaire sèches des plants de l'arachide à 90 jours après semis en fonction des traitements.

Traitements	Diamètre au collet (mm)	Biomasse aérienne (g)	Biomasse racinaire (g)
T0	$5,75 \pm 0,65^b$	$15,51 \pm 5,36^c$	$1,03 \pm 0,29^c$
R	$6,31 \pm 0,58^{ab}$	$19,54 \pm 4,82^c$	$1,26 \pm 0,25^{bc}$
PGPR	$6,35 \pm 0,67^{ab}$	$26,67 \pm 2,1^b$	$1,45 \pm 0,17^{ab}$
CMA	$6,99 \pm 0,93^a$	$3,96 \pm 5,76^a$	$1,69 \pm 0,32^a$
Mixte	$6,33 \pm 0,83^{ab}$	$20,55 \pm 6,27^c$	$1,43 \pm 0,26^{ab}$
NPK	$6,42 \pm 0,53^{ab}$	$25,41 \pm 3,57^b$	$1,40 \pm 0,20^{ab}$
Moyenne $\pm$ sd	$6,36 \pm 0,77$	$23,44 \pm 7,34$	$1,38 \pm 0,31$
CV (%)	11,22	20,73	18,22
P-value	0,0294 *	1,09e-08 ***	6,39e-05 ***

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 (différence significative selon le test de Newman Keuls) ; Moyenne $\pm$ sd (moyenne totale plus ou moins l'écart type) ; CV (coefficient de variation).

4.1.3 Sur la composition de la biomasse aérienne : L'analyse de la variance à un facteur contrôlé sur rangs (le test de Kruskal-Wallis), suivie de la comparaison multiple par paires selon la procédure de Dunn (Tableau 3) montre une différence significative entre les traitements étudiés. Les plants inoculés avec les rhizobiums ont présenté des concentrations en azote, en phosphore et en calcium les plus élevées,

significativement différentes de celles des témoins. De même, l'inoculation mycorhizienne a entraîné une augmentation significative des teneurs en azote et en potassium. Les teneurs en calcium ont été également significativement améliorées par l'inoculation mixte (R-PGPR-CMA). En revanche, l'inoculation des plants avec les PGPR n'a pas montré d'effet positif sur la nutrition minérale des plants.

Tableau 3 : Teneurs en éléments minéraux des plants de l'arachide soumise aux inoculations microbiennes

Traitements	N (%)	P (%)	K (ppm)	Ca (ppm)
T0	6,923	0,128	30,186	49,707
R	7,192 *	0,141 *	28,855	63,469*
PGPR	6,827	0,118	28,83	50,587
CMA	7,250 *	0,124	39,805 *	45,458
Mixte	6,942	0,134	29,755	54,023 *
NPK	7,173	0,134	39,146	51,69

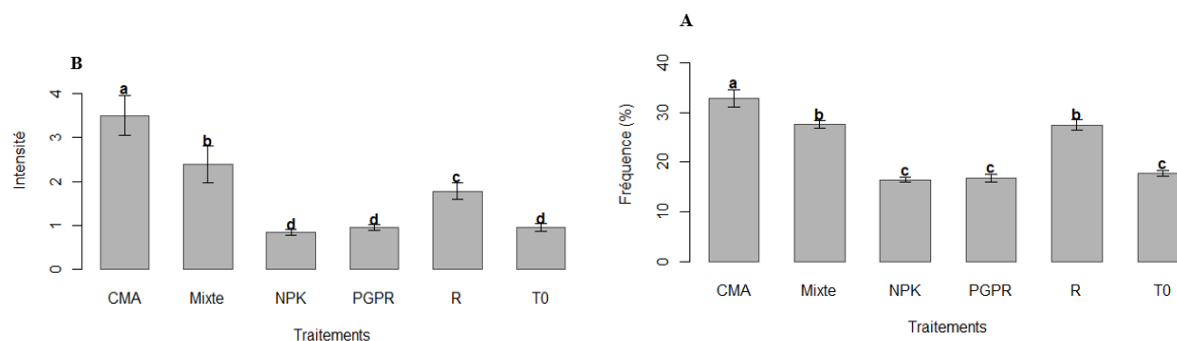
Pour chaque concentration en nutriments, les moyennes des plants inoculés de la même colonne en gras et suivie d'un astéris sont significativement différents comparés à celles des plants témoins (T0 et NPK) selon le test de Kruskal-Wallis

4.2 Effet des biofertilisants sur la culture du niébé

4.2.1 Sur les paramètres de mycorhization :

La fréquence et l'intensité de mycorhization des plants de niébé en fonction des traitements sont déterminées après la récolte (Figure 3A et 3B). Pour la fréquence, la meilleure performance est notée chez les plants inoculés avec les souches de CMA seules. Cette fréquence de

mycorhization maximale est différente de 98% et de 84% respectivement de celle des plants fertilisés avec l'engrais minéral NPK et celle non fertilisés ni inoculés. De même, la plus grande valeur d'intensité de mycorhization est obtenue chez les plants inoculés avec les souches de CMA seules. Parallèlement, l'inoculation mixte a produit une augmentation de 150% par rapport au témoin absolu.

**Figure 3 :** Variation de la fréquence (A) et de l'intensité (B) de mycorhization des plants de niébé en fonction de la fertilisation

4.2.2 Sur les paramètres de croissance et de rendement :

L'analyse de la variance à un facteur suivi du test de comparaison des moyennes de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% n'a pas montré de variation significative du diamètre au collet entre les traitements appliqués (Tableau 4). Toutefois, le traitement CMA a présenté la valeur maximale ($8,60 \pm 1,29$). L'analyse des résultats montre une variation significative des biomasses aérienne et racinaire sèches des plants selon le test de comparaison de Newman-Keuls (Tableau 4). Le traitement Mixte (R-PGPR-CMA) a présenté la

biomasse aérienne la plus élevée avec une augmentation de 19,27% et 69,94% respectivement par rapport aux témoins, positif et négatif. En outre, les plants cultivés sous inoculation mixte ont présenté la meilleure performance pour la biomasse racinaire sèche. Une amélioration de 67% a été notée par rapport au témoin absolu. De même, l'inoculation du niébé avec les souches de CMA et de PGPR seules a respectivement entraîné des augmentations significatives de la biomasse racinaire des plants de 53% et 47% comparées au témoin négatif.

Tableau 4 : Diamètre au collet et biomasses aérienne et racinaire sèches des plants de niébé à 90 jours après semis en fonction des traitements.

Traitements	Diamètre au collet (mm)	Biomasse aérienne (g)	Biomasse racinaire (g)
T0	7,99 ± 1,56 ^a	6,92 ± 1,64 ^c	1,36 ± 0,26 ^b
R	8,32 ± 1,94 ^a	9,66 ± 1,52 ^b	1,62 ± 0,64 ^{ab}
PGPR	8,37 ± 1,34 ^a	8,63 ± 0,9 ^b	2 ± 0,4 ^a
CMA	8,61 ± 1,29 ^a	9,32 ± 0,93 ^b	2,06 ± 0,46 ^a
Mixte	8,34 ± 1,99 ^a	11,76 ± 2,47 ^a	2,26 ± 0,57 ^a
NPK	8,35 ± 1,78 ^a	9,87 ± 1,42 ^b	2,12 ± 0,57 ^a
Moyenne ± sd	8,33 ± 1,60	9,360 ± 2,09	1,90 ± 1,90
CV (%)	20,08	16,76	26,32
P-value	0,986	3,38e-06 ***	0,00315 **

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 (différence significative selon le test de Newman Keuls) ; Moyenne ± sd (moyenne totale plus ou moins l'écart type) ; CV (coefficient de variation).

4.2.3 Sur la composition de la biomasse aérienne : Le Tableau 5 représente les teneurs en N, P, K et Ca de la biomasse aérienne des plants de niébé en fonction des différents traitements fertilisants appliqués. Les résultats ont montré que l'inoculation avec les souches de mycorhize a présenté la concentration en azote la plus élevée, significativement supérieure à

celles des deux traitements témoins NPK et T0. L'inoculation rhizobienne a également entraîné une amélioration significative de la concentration en calcium des plants par rapport aux témoins. En revanche, les inoculations n'ont pas affecté positivement les concentrations en potassium et phosphore des plants par rapport au témoin non inoculé.

Tableau 5 : Teneurs en éléments minéraux des plants l'arachide soumis aux inoculations microbiennes

Traitements	N (%)	P (%)	K (ppm)	Ca (ppm)
T0	6,673	0,265	50,91	42,017
R	7,5	0,159	40,956	74,137 *
PGPR	7,25	0,164	43,269	51,509
CMA	8,038 *	0,201	48,296	40,407
Mixte	7,308	0,233	50,402	40,309
NPK	7,712	0,212	44,88	60,62

Pour chaque concentration en nutriments, les moyennes des plants inoculés de la même colonne en gras et suivie d'un astéris sont significativement différents comparés à celles des plants témoins (T0 et NPK) selon le test de Kruswallis

5 DISCUSSION

5.1 Influence des inocula microbiens sur la biomasse des cultures : Peu d'attention est accordée à la production de fourrage considéré comme un sous-produit par la plupart des producteurs malgré son importance bien **reconnue** pour l'alimentation du bétail. Au Sénégal, les résultats obtenus sur l'amélioration de la production de fourrage d'arachide et de niébé par les biotechnologies microbiennes est une contribution importante dans le secteur. En

effet, les paramètres de croissance et de développement des plants évalués ont révélé l'effet bénéfique de l'inoculation microbienne sur la culture de l'arachide et du niébé fourragers. L'inoculum mycorhizien a entraîné une augmentation significative du diamètre au collet et des biomasses aérienne et racinaire sèches des plants d'arachide et de niébé par rapport aux plants témoins non fertilisés. Ces résultats corroborent ceux de Zaman *et al* (2024) qui ont



montré sur la base d'une méta-analyse, l'effet bénéfique des CMA sur la biomasse végétale des plants. Hazzoumi *et al* (2022) ont également montré une amélioration significative de la croissance et de la biomasse végétale des plants de blé inoculés avec des CMA du genre *Glomus* par rapport aux plants non inoculés. Toutefois, Ndoye (2006) qui a travaillé dans les mêmes conditions sur la variété d'arachide 73-33 a obtenu des résultats contradictoires. Cette dernière a montré que l'apport d'inoculum exogène de CMA dans un sol non stérile n'avait aucun effet significatif sur la croissance et le développement des plants par rapport aux plants non inoculés. Selon cet auteur, l'existence dans le milieu de culture de souches indigènes mieux adaptées pourrait masquer l'efficacité des souches introduites. La réussite de la symbiose mycorhizienne est souvent attribuée à la colonisation des racines par les CMA (Wang *et al.*, 2025). Dans cette étude, les paramètres de mycorhization, notamment l'intensité de mycorhization, sont corrélés positivement et significativement aux paramètres morphologiques des plants. Par contre, Tran *et al.*, (2019) ont montré un effet négatif des CMA sur la croissance des plantes malgré la forte colonisation racinaire. Ces différentes observations pourraient s'expliquer par de nombreux facteurs biotiques et abiotiques notamment les interactions entre plantes et microorganismes (Berger et Gutjahr, 2021). D'autre part, l'inoculation rhizobienne n'a pas permis une amélioration significative des paramètres de croissance par rapport au témoin non inoculé chez l'arachide. Cependant, la faible teneur en azote du sol de la zone d'étude (Tableau 1) constitue une condition qui laisse présager une réussite de l'inoculation en milieu réel. Ceci d'autant plus que les résultats obtenus en conditions semi-contrôlées (en serre) par Zaiya (2018) et Niang *et al.* (2023) ont montré une amélioration significative de la croissance des plants de la variété Fleur 11 de l'arachide inoculés avec la souche de *Bradyrhizobium* ISRA 400. Par ailleurs, l'inoculum mixte R-PGPR-CMA a entraîné une amélioration significative de

la biomasse sèche chez les plants de niébé. Ces résultats corroborent ceux de Kavadia *et al.* (2021) qui ont montré que la co-inoculation des plants de niébé avec des souches de bactéries et de champignons augmentait la biomasse végétale. En revanche, ce type d'inoculum n'a pas montré d'effet significatif chez les plants d'arachide. Ceci pourrait s'expliquer par la composition spécifique de l'inoculum utilisé. En effet, deux cocktails de souches différentes ont été utilisés sur les deux cultures. Pour l'arachide, le mélange mycorhizien était constitué de *Glomus intraradices* et *G. fasciculatum* tandis que le cocktail *Glomus mossea* et *G. etinucatum* a été utilisé pour le niébé. Selon Kavadia *et al* (2021), l'efficacité de la double inoculation dépend fortement de l'espèce hôte et des souches microbiennes présentes. Les PGPR sont des bactéries libres, vivant dans la rhizosphère et connues pour leur aptitude à augmenter la croissance et la productivité des cultures. Elles favorisent l'absorption des nutriments et améliorent la résistance des cultures aux maladies (Figueiredo *et al.*, 2011). Dans cette étude l'inoculation avec les PGPR a entraîné une augmentation significative de la biomasse végétale chez le niébé et l'arachide. Ces résultats sont en cohérence avec ceux de Dey *et al.* (2004) et ceux de Pereira *et al.* (2020) qui ont obtenu une amélioration de la biomasse aérienne des plants de maïs et d'arachide inoculés avec des souches de PGPR par rapport aux plants témoins. En revanche, les résultats ont montré que l'inoculation par les PGPR n'avait pas d'effet sur le diamètre au collet des plants. Ces résultats sont soutenus par ceux de Adesemoye *et al* (2009) qui ont montré une amélioration significative de la biomasse des plants de tomates inoculés malgré un effet neutre sur le diamètre au collet.

5.2 Influence des inocula microbiens sur la composition chimique de la biomasse aérienne : Les résultats de l'inoculation ont montré une amélioration significative de la plupart des teneurs en éléments minéraux de la matière végétale produite. L'inoculum mycorhizien a significativement amélioré la teneur en azote des feuilles d'arachide et de niébé. Il a également entraîné une amélioration



significative de la concentration en potassium chez l'arachide. Ces résultats s'expliquent par l'exploration des hyphes mycéliens au-delà de la surface racinaire favorisant ainsi l'absorption et le transport des nutriments vers la plante (Mugabo *et al.*, 2014 ; Mpongwana *et al.*, 2023). Chez l'arachide, le traitement rhizobium a été plus efficace en améliorant significativement les teneurs en azote et en phosphore des biomasses aériennes. Les teneurs en calcium des produits végétaux des deux légumineuses ont également été améliorées par les inocula rhizobiens par rapport aux témoins positif et négatif. Outre le rôle capital des éléments minéraux dans la synthèse protéique chez les plantes, l'augmentation significative, par les inoculations microbiennes, de ces éléments minéraux est particulièrement importante pour la qualité du fourrage. Ces éléments minéraux jouent un rôle essentiel dans plusieurs processus métaboliques chez les ruminants. Ils sont impliqués dans les réactions chimiques comme activateurs d'enzymes ou comme réactifs (NRC, 2000).

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) qui a financé ce projet de

Cette étude a mis en évidence l'efficacité des inoculations microbiennes pour la production de fourrages au Sénégal. L'application des CMA a un effet positif sur la croissance et la nutrition minérale des plants d'arachide. Chez le niébé, l'inoculum mixte a entraîné une amélioration significative de la biomasse végétale par rapport aux plants témoins non fertilisés. Les résultats ont aussi montré que l'inoculation des plants avec les PGPR avait les mêmes effets que la fertilisation azotée sur la biomasse des plants. L'inoculum rhizobien a un effet significatif sur la plupart des teneurs en éléments minéraux chez l'arachide alors que l'inoculation mixte a amélioré les teneurs en Ca, élément très influent de la qualité du fourrage. Compte tenu de l'importance de l'effet des inoculations sur la biomasse et les teneurs en éléments minéraux des deux légumineuses, des études sont actuellement entreprises pour déterminer la valeur alimentaire du fourrage produit.

recherche par le biais du Fonds d'Impulsion de la Recherche Scientifique et Technique (FIRST).

7 REFERENCES

- Adesemoye A, Torbert HA et Kloepper J: 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology* 58: 921 - 929. DOI: [10.1007/s00248-009-9531-y](https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y)
- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD): 2019. Situation économique et sociale du Sénégal – Élevage 2016–2018. Dakar, Sénégal : <http://www.ansd.sn>
- Berger F et Gutjahr C: 2021. Factors affecting plant responsiveness to arbuscular mycorrhiza. *Current Opinion in Plant Biology*, 59, 101994.
- CORAF: 2022. *Evaluation du potentiel d'amélioration du disponible fourrager cultivé dans les six (6) pays du PRAPS (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad) : Rapport final*. Projet Régional d'Appui au Pastoralisme au Sahel (PRAPS)
- Dey R, Pal KK, Bhatt DM et Chauhan SM: 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiol. Res.* 159: 371 - 394. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2004.08.004>
- Diouf A, Ndoye I, Spencer MM, Nef-Campa C et Gueye M: 1999. Need for inoculation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Senegal and assessment of nitrogen



- fixation using ^{15}N isotope dilution technique. *Symbiosis* 27: 251-257.
- Djiba S., Clermont-Dauphin C, Svistoonoff S, Fall S, Cournac L et Diarra K: 2025. Comparaison de trois variétés d'arachide en zone sub-saharienne : rendement, état sanitaire et interactions symbiotiques avec les organismes du sol. *Innovations Agronomiques*, 99, 177–191.
- Dugue P: 2022. La complexité de la transition agroécologique en Afrique : l'exemple des herbicides dans les zones cotonnières au Cameroun. Montrouge: Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde. <http://www.fondatiofarm.org/zoe.php?s=blog farm>.
- Figueiredo M, do VB, Seldin L, de Araujo, FF, Mariano R et de LR: 2010. Plant growth promoting rhizobacteria: fundamentals and applications, in: Plant Growth and Health Promoting Bacteria. *Springer*, pp. 21–43. DOI:[10.1007/978-3-642-13612-2_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13612-2_2)
- Hazzoumi Z, Azaroual SE, El Mernissi N, Zaroual Y, Duponnois R, Bouizgarne B, Meftah Kadmiri I: 2022. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolated From Rock Phosphate Mine and Agricultural Soil on the Improvement of Wheat Plant Growth. *Frontiers in Microbiology*, Volume 13-2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.881442>
- Kavadia A, Omirou M, Fasoula D, Louka F, Ehaliotis C et Ioannides IM: 2021. Co-inoculations with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi alters mycorrhizal composition and lead to synergistic growth effects in cowpea that are fungal combination-dependent. *Applied Soil Ecology* 167: 104013. DOI: [10.1016/j.apsoil.2021.104013](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104013)
- Krasova-Wade T, Ndoye I, Braconnier S, Sarr B, De Lajudie P et Neyra M: 2003. Diversity of indigenous bradyrhizobia associated with three cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grown under limited and favorable water conditions in Senegal (West Africa). *African Journal of Biotechnology* 2: 13–22. DOI:[10.5897/AJB2003.000-1003](https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1003)
- Mpongwana S., Manyevere A., Mupangwa J., Mpendulo C.T., Mashamaite C.V. 2023. Foliar nutrient content responses to bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on three herbaceous forage legumes. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7, 1256717. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1256717>
- Mugabo JP, Bhople BS, Kumar A, Ernest H, Emmanuel B et Singh YN: 2014. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi) and rhizobium inoculation on crop growth and chemical properties of rhizospheric soils in high plants. *IOSR-JAVS*, 7, 45–55. DOI:[10.9790/2380-07944555](https://doi.org/10.9790/2380-07944555)
- National Research Council (NRC): 2000. Nutrient requirements of dairy cattle: 2001. Natl. Res. Counc. 2001 Nutr. Requir. Dairy Cattle Seventh Revis. Ed. 9825.
- Ndoye F: 2006. Inoculation microbienne associée ou non à un amendement organique chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) et impact de la culture sur les communautés de champignons mycorrhiziens arbusculaires indigènes. Mémoire d'Etudes Approfondies de biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop (Dakar). 95p. <http://bibnum.ucad.sn/>
- Niang D, Gueddou A, Niang N, Nzepang D, Sambou A, Diouf A, Zaiya AZ, Cissoko M, Gully D, Nguepjob J-R: 2023. Permanent draft genome sequence of *Bradyrhizobium vignae*, strain ISRA 400, an elite nitrogen-fixing bacterium, isolated from the groundnut growing area in Senegal. *Journal of Genomics* 11, 52. doi:10.7150/jgen.88302
- Nord A, Snapp S, Traore B: 2022. Current knowledge on practices targeting soil



- fertility and agricultural land rehabilitation in the Sahel. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 79. DOI:[10.1007/s13593-022-00808-1](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00808-1)
- Orounladji, BM, Sib O et Vall E: 2025. *A synthesis of existing knowledge on the dairy value chain in the Fatick Department, Senegal*. Montpellier: CIRAD, 18 p. Available at: AGRIS/FAO.
- Ouattara SD, Orounladji B.M, Sanogo S, Dabiré D, Diomandé D, Sib O et Assouma MH: 2024. Valorisation des résidus de cultures pour l'alimentation du bétail au Burkina Faso : perception des agropasteurs et pratiques d'utilisation. *Rev. d'Elevage Médecine Vét. Pays Trop*: 77, 1–8.
- Pereira SIA, Abreu D, Moreira H, Vega A et Castro PML: 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*, 6, e05106. DOI:doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106
- Somda B, d'Ela, Assouma MH, Houngue W, Gbenou X, Sib O, Bastianelli D, Dossa LH et Bougouma-Yameogo VM: 2024. Impact du niveau de complémentation des rations avec des fanes de *Arachnis hypogaea* et de *Vigna unguiculata* sur les émissions de méthane entérique chez les zébus peulh soudanais en Afrique de l'Ouest. CIRAD ; INRAE, p. 24.
- Sow F, Niang, K Camara Y, Traoré EH, Moula N, Cabaraux JF, Missohou A et Hornick J-L: 2020. Comparative study of intake, apparent digestibility and energy and nitrogen uses in Sahelian and Majorera dairy goats fed hay of *Vigna unguiculata*. *Animals* 10, 861. DOI:[10.3390/ani10050861](https://doi.org/10.3390/ani10050861)
- Tran BT, Watts-Williams SJ and Cavagnaro TR: 2019. Impact of an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth and nutrition of fifteen crop and pasture plant species. *Funct. Plant Biol.* 46, 732–742. DOI:[10.1071/FP18327](https://doi.org/10.1071/FP18327)
- Trouvelot A, Kough JL et Gianinazzi-Pearson V: 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, 217–221.
- Vincent JM: 1970. A manual for practical study of root nodule bacteria, 164 p. IBP Handbook N° 15. Blackwell Sci. Publ. Oxford, England.
- Wang H, Wang Y, Cheng X, He Y, Shen Z., Zhang W et Pu X: 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization facilitates nitrogen uptake in cotton under nitrogen - reduction condition. *BMC Plant Biology*, 25, 1129. DOI:[10.1186/s12870-025-07204-3](https://doi.org/10.1186/s12870-025-07204-3)
- Zaiya Z: 2018. Etude de La Composante Symbiotique Bactérienne Impliquée Dans l'adaptation de l'arachide Cultivée (*Arachis hypogaea* L.) Au Sénégal. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop (Dakar). 175p. <http://bibnum.ucad.sn/>.
- Zaman F, Hassan MU, Khatkhat WA, Ali A, Awad MF et Chen F-S: 2024. The pivotal role of arbuscular mycorrhizal fungi in enhancing plant biomass and nutrient availability under drought stress conditions : A global meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 955, 176960. DOI:[10.1016/j.scitotenv.2024.176960](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176960)