



Inoculation du *Bradyrhizobium Japonicum* sur la production du soja (variétés Canada, Impérial et Machavu) à Kiwanja

Muhindo Lukando^{1*}, Shabani Ekyamba²

¹Département de production agricole, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Goma

²Département Conservation et Gestion des Ressources Naturelles renouvelables, Faculté des Sciences et technologies, Université de Goma

*Auteur correspondant : lukandojonas19@gmail.com

Article info: reçu: 24 octobre 2024, accepté: 30 décembre 2024, publié: 07 janvier 2025

Résumé : Cet article porte sur « Effet d'inoculation du *Bradyrhizobium japonicum* sur la production du Soja (variétés Canada, Impérial et Machavu) à Kiwanja ». Il a comme objectif de déceler l'influence qu'aura le *Bradyrhizobium japonicum* sur la production du soja mais aussi trouver laquelle de ces trois variétés de soja cités ci-haut, pourrait donner des meilleurs résultats. Pour atteindre cet objectif, nous avons mené une expérimentation sur cette culture dans le village Kahunga (Kiwanja) Territoire de Rutshuru et cela à l'aide d'un dispositif expérimental Split plot et différentes techniques agricoles. Partant des résultats obtenus, nous avons remarqué que l'inoculum au *Bradyrhizobium japonicum* a eu une influence significative sur la croissance et même la production de toutes ces trois variétés de Soja tout en signalant que c'est la variété V3SB24(Machavu) qui a bien répondu à cette inoculation que les autres variétés. En dépit des conditions édaphoclimatiques qui ont prévalu au cours de notre expérience, nous pouvons ainsi dire que l'inoculum *Bradyrhizobium japonicum* permettrait d'accroître le rendement de ces trois variétés de soja.

Mots clés : Soja, impact, *Bradyrhizobium japonicum*, production, variété Machavu, Kiwanja

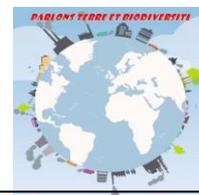
Abstract: This article deals with the “Effect of *Bradyrhizobium japonicum* inoculation on soybean production (Canada, Imperial and Machavu varieties) in Kiwanja”. The aim was to determine the influence of *Bradyrhizobium japonicum* on soybean production, and also to find out which of the three soybean varieties mentioned above would give the best results. To achieve this objective, we carried out an experiment on this crop in the village of Kahunga (Kiwanja) in the territory of Rutshuru, using a split-plot experimental set-up and various agricultural techniques. Based on the results obtained, we noted that inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* had a significant influence on the growth and even production of all three soybean varieties, with the V3SB24 (Machavu) variety responding better to inoculation than the other varieties. Despite the edaphoclimatic conditions that prevailed during our experiment, we can thus say that the *Bradyrhizobium japonicum* inoculum would increase the yield of these three soybean varieties.

Keywords: Soybean, impact, *Bradyrhizobium japonicum*, production, Machavu variety, Kiwanja

1. Introduction

Le soja est une légumineuse alimentaire qui offre de nombreux avantages tant agronomiques que nutritionnels. Il est de ce fait, parfois considéré comme une plante miracle (Lof et al., 1990).

En effet, selon Javaheri et Baudoin (2001), le soja est actuellement la source la plus importante d'huile végétale dans le monde ; et la plus excellente source de protéines pour l'alimentation humaine et animale. Ils ajoutent que le soja est aussi utilisé en médecine pour la production d'hormones et de produits pharmaceutiques ; en agriculture comme engrais vert et en industrie dans le tannage, la production d'insecticide et de colle pour contreplaqué.



Pour la FAO (2004), les réductions importantes des rendements agricoles observées dans la plupart des pays en voie de développement est notamment due à la baisse de fertilité des sols, aux changements climatiques et aux phénomènes d'érosion. Soltiner (1985) préconise qu'il est indispensable de restituer au sol ses éléments pour qu'il ne s'épuise pas de tous les éléments fertilisants après récoltes.

Par ailleurs, les études précédentes comme celles faites par la FAO (1999) ont révélé qu'en dépit de la faible fertilité des sols en Afrique subsaharienne, les éléments nutritifs exportés ne sont pas remplacés dans la plupart des cas de façon adéquate.

Dans cette même option, Houngnandan *et al.* (2001) ajoutent que cette situation entraîne la déficience drastique en azote, en phosphore et en potassium limitant de manière inquiétante le rendement des cultures.

Ainsi, l'apport de souches efficaces de bactéries symbiotiques sous forme d'inoculum lors de la production du soja au Congo serait une alternative capitale et souhaitable pour l'amélioration de sa production. Des résultats probants ont été notés par Mandimba (1997) à la suite des essais d'inoculum des semences de soja. Mais, ils viennent en opposition à ceux trouvés par Giller et Dashiell (2007) au Nigeria et en Zambie sur une lignée de soja non inoculée et tardive.

La question principale est de savoir comment réagiraient les variétés « Canada », « impérial » et « Machavu » à inoculation du Rh^+ dans les conditions agro-écologiques de Kahunga à Kiwanja.

Nous estimons que toutes ces trois variétés réagiraient favorablement à travers une augmentation de la production en graines sèches.

Pour ce faire, une expérimentation basée sur l'inoculation au Rhizobium de ces trois variétés de soja a été menée à Kahunga dans les champs des agriculteurs de Kiwanja en Territoire de Rutshuru avec comme objectif de déceler l'influence qu'aura le Rhizobium sur la production du soja mais aussi trouver laquelle de ces variétés de soja pourrait donner des meilleurs résultats.

Matériel et méthodes

Matériels

Matériels biologiques

Nous avons utilisé trois variétés de Soja que nous nous sommes procurés auprès d'un Centre d'Adaptation et de Production des Semences Améliorées, CAPSA/Kahunga pour leur adaptation dans le milieu. Ces variétés sont entre autres : « Canada », « Impérial » et « Machavu ».

Les caractéristiques de variétés utilisées dans le champ expérimental.

Tableau 1: Les caractéristiques variétales de Soja (Musakamba, 2013)

Caractéristiques	Canada	Impérial	SB24 (Machavu)
Rendement potentiel	Haut de 2000 Kg/ha	Haut de 2000 Kg/ha	Haut de 2500Kg/ha
Maturité(Jours)	Longue durée (100 - 110 Jours)	Longue durée (100 - 130 Jours)	Durée courte en moyenne (95 - 105 Jours)
Taille des graines	Large	Petite	Petite



Production de la biomasse	Moyenne	Haute	Haute
Croissance sur le sol pauvre	Bonne	Pauvre	Modérée
Résistance aux fortes pluies	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Résistance à la sécheresse	Bonne	Moyenne	Bonne
Résistance aux maladies	Pauvre	Bonne	Moyenne

Matériel microbiologique

Lors de notre expérimentation, nous avons utilisé la souche du Rhizobium propre au soja appelé « *Bradyrhizobium japonicum* » fourni par le Centre de Recherche en Sciences Naturelles.

Méthodes

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé a été le Split plot comportant 9 grandes parcelles conduites en 3 blocs. Chaque grande parcelle était subdivisée en 2 petites parcelles. Ces deux petites parcelles comportent chacune une variété de soja avec inoculum et l'autre parcelle sans inoculum. Nous avons trois répétitions comportant chacune trois traitements.

Conduite de l'essai

Pendant notre étude, nous avons effectué plusieurs opérations, entre autres :

1°) **Préparation du terrain** : elle a consisté au désherbage, au nivellement du terrain, à la délimitation des unités expérimentales suivi d'un piquetage.

2°) **Application du rhizobium** :

La préparation du soja inoculé (semence inoculée) a suivi des étapes suivantes :

- Nous avons effectué un mélange homogène de l'eau et un adhésif (sucre ou savon) dans un sachet (nous avons utilisé du sucre pour notre expérience) ;
- Nous avons ensuite introduit du soja dans le même sachet et secoué pour faire adhérer la solution au soja ;
- Puis verser l'eau et ne rester qu'avec le soja imbibé ;
- Ajout de l'inoculum dans le même sachet et secouer encore pour faire adhérer l'inoculum au soja ;
- Et enfin semer le soja avant que 6 heures de temps ne passent.

Il est conseillé de ne pas placer le soja inoculé en contact direct avec les rayons solaires. Le semis est intervenu le 10 mars 2014.



3°) **Semis** : il s'est réalisé à une profondeur moyenne de 5 cm, aux écartements de 50 cm entre les lignes et 50 cm sur les lignes en raison de deux graines par poquet ; toutes les parcelles étaient semées aux mêmes écartements, nous avons 18 petites parcelles de 2m de long sur 2m de large soit 4 m² par petite parcelle. Au total, nous avons 50 graines par parcelle de 4 m².

4°) **Entretien** : les travaux d'entretien ont consisté au binage, au sarclage, et au léger buttage ; nous avons effectué deux fréquences d'entretien.

5°) **Récolte** : la récolte est intervenue quand les plantes ont atteint leur maturité physiologique. Le même jour, nous avons arraché quelques racines des plantes en étude pour voir la disposition et le nombre des nodules retrouvés sur un plant.

Les observations faites :

(a) Paramètre phrénologique

Le taux de levée est exprimé en pourcentage de plants levés sur le total des graines semées ; il est illustré par la formule proposée par le Ministère de France de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la pêche, Agro bio (2013).

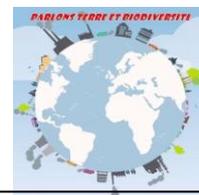
$$TG = \frac{\text{Nombre des graines levées}}{\text{Graines semées}} \times 100$$

(b) Paramètres de croissance :

- Hauteur des plantes était déterminée à l'aide d'un ruban faisant coïncider la marge zéro du mètre ruban avec le collet des pieds. Nous avons déterminé la hauteur de 10 plants retenus aléatoirement dans chaque parcelle utile, la somme était divisée par 10 pour avoir la hauteur moyenne de chaque plant de la parcelle utile.

(c) Paramètres de rendement :

- Nombre des nodules : nous avons arraché 10 plants pris au hasard et ensuite, nous avons divisé la somme des nodules de 10 plants par 10 pour trouver le nombre moyen de nodules que peut se trouver sur chaque plant.
- Production parcellaire : elle est déterminée par pesage sur balance de précision de marque KERN, la quantité produite par unité expérimentale.
- Rendement en T/ha : il est exprimé par extrapolation à l'hectare de la production parcellaire.



Résultats

Les résultats de ce travail sont présentés sous forme des tableaux.

Paramètres phrénologiques

1) Taux de germination de trois variétés

Tableau 2: Taux de germination de trois variétés

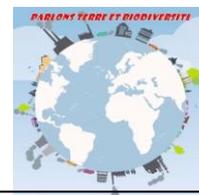
Variété	Rhizobium	Blocs			Σ	Y	Différence de Y entre Rh ⁺ et Rh ⁻	Y Rh	σ	Cv
		B1	B2	B3						
V1	Rh ⁺	78	90	84	252	84	1,3	82,4	4,9	5,8
	Rh ⁻	86	82	80	248	82,7			2,5	3,01
V2	Rh ⁺	80	78	86	244	81,3	5,3	78,7	3,4	4,2
	Rh ⁻	76	70	82	228	76			4,9	6,4
V3	Rh ⁺	90	78	78	246	82	4,7		5,7	6,9
	Rh ⁻	88	64	80	232	77,3			10	13
Σ		498	462	490						
Y		83	77	81,7						

Ce tableau montre que les parcelles semées aux graines inoculées ont une moyenne de pourcentage de germination de 82,4 par rapport aux parcelles semées aux graines de soja non inoculées au rhizobium (78,7 %). La variété V2 a une grande différence de 5,3% en faveur de parcelles inoculées ; 4,7% pour la variété V3 et 1,3% pour la variété V1.

Tableau 3 : Comparaison du taux de levée entre ces trois variétés

Source de variation	d.f.	s.s	m.s	v.r.	F pr.	Décision
Blocs	2	119,11	59,56	1,47	0,269	DNS
Rhizobium	1	64,22	64,22	1,58	0,232	DNS
Variety	2	72,44	36,22	0,89	0,435	DNS

Partant de l'analyse de variance, les données montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre ces trois variétés. Cela veut dire que l'application de Rh⁺ n'a pas influencé le taux de levée de ces trois variétés de Soja.



2) *Hauteurs moyennes des plantes*

Tableau 4 : Hauteur moyenne des plants (cm)

Variété	Rhizobium	Blocs			Σ	Y	Différence de Y entre Rh ⁺ et Rh ⁻	Y Rh	σ	Cv
		B1	B2	B3						
V1	Rh ⁺	54,1	62,8	55,8	172,7	57,6bc	5,8	59,7	3,76	6,53
	Rh ⁻	50,1	55,5	50	155,6	51,86ef				
V2	Rh ⁺	60	60,1	58,2	178,3	59,4ab	5,9	53,2	0,87	1,46
	Rh ⁻	52,7	52	56	160,7	53,56df				
V3	Rh ⁺	55,9	69,2	59,8	184,9	61,6a	7,3	5,58	9,06	1,25
	Rh ⁻	53,9	53	56	162,9	54,3cd				

Il ressort de ce tableau que la variété V3 a une différence de 7,3 cm en faveur de Rh⁺ c'est-à-dire la variété V3Rh⁺ est supérieure avec 61,6 cm par rapport au V3Rh⁻ avec 54,3 cm ; cette dernière est suivie de V2 avec 5,9 cm de différence et V1 avec 5,8 cm de différence, toujours en faveur de Rh⁺.

3) *Nombre moyen des nodules par plants*

Tableau 5: Nombre moyen de nodules par plants

Variété	Rhizobium	Blocs			Σ	Y	Différence de Y entre Rh ⁺ et Rh ⁻	Y Rh	σ	Cv
		B1	B2	B3						
V1	Rh ⁺	32	36	32	100	33,33bc	7,33	40,5	1,88	5,66
	Rh ⁻	19	31	28	78	26cd				
V2	Rh ⁺	37	45	75	157	52,33a	26,33	25,77	16,35	31,2
	Rh ⁻	26	24	28	78	26cd				
V3	Rh ⁺	32	40	36	108	36b	10,67	9,17	3,26	9,07
	Rh ⁻	13	35	28	76	25,33cde				

Il se révèle de ce tableau que la variété V2 a un nombre élevé de nodules (26,33) en faveur de la parcelle subie l'inoculum ; suivi de variété V3 avec 10,67 et enfin V1 avec une baisse en nodules (7,33).

Ensuite, les parcelles ayant utilisé les graines inoculées ont une moyenne élevée de 40,5 nodules par plants par rapport à celles ayant utilisé les graines non inoculées avec 25,7 nodules.



4. Production parcellaire en kg

Tableau 6: Production parcellaire en Kg

Variété	Rhizobium	Blocs			Σ	Y	Différence de Y entre Rh ⁺ et Rh ⁻	Y Rh	σ	Cv
		B1	B2	B3						
V1	Rh ⁺	1,227	1,416	1,282	3,925	1,308ab	0,065	1,319	0,079	6,068
	Rh ⁻	1,199	1,393	1,137	3,729	1,243 bcd			0,109	8,772
V2	Rh ⁺	1,318	1,264	1,288	3,87	1,29 ab	0,094	1,235	0,222	1,712
	Rh ⁻	1,162	1,140	1,286	3,588	1,196cde			0,064	5,373
V3	Rh ⁺	1,276	1,437	1,366	4,079	1,359a	0,093	1,235	0,065	4,847
	Rh ⁻	1,208	1,256	1,335	3,799	1,266bc			0,052	4,135

Il se dégage de ce tableau que la variété V2 a une production de 0,094 Kg, suivi de la variété V3 avec 0,093 Kg et enfin suivi de V1 avec une petite différence de 0,065 Kg. Notons que les parcelles ayant utilisé les graines inoculées ont donné une moyenne de 1,319 Kg par rapport à celles ayant utilisé les graines non inoculées avec 1,235 Kg.

4) Rendement espéré par ha en tonne

Tableau 7 : Production parcellaire à l'hectare en tonne

Variété	Rhizobium	Blocs			Σ	Y	Différence de Y entre Rh ⁺ et Rh ⁻	Y Rh	σ	Cv
		B1	B2	B3						
V1	Rh ⁺	2,556	2,950	2,670	8,176	2,725ab	0,136	2,749	0,165	6,074
	Rh ⁻	2,497	2,902	2,368	7,767	2,589b			0,045	8,787
V2	Rh ⁺	2,745	2,633	2,683	8,061	2,687ac	0,191	2,572	0,045	1,704
	Rh ⁻	2,420	2,375	2,679	7,474	2,491de			0,133	5,378
V3	Rh ⁺	2,658	2,993	2,845	8,496	2,835a	0,198	2,572	0,137	4,834
	Rh ⁻	2,516	2,616	2,781	7,913	2,637bcd			0,109	4,143

Ce tableau relate que la variété V3 a un rendement élevé (0,198 tonne), suivi de V2 avec 0,191 tonne et enfin suivi de V1 avec 0,136 tonne. Signalons que les parcelles ayant utilisé les graines inoculées ont une moyenne de 2,749 tonnes par hectare alors que celles ayant des graines non inoculées ont 2,572 tonnes à l'hectare.



Discussion

Cette expérience était basée sur plusieurs éléments, les plus importants sont liés aux aspects végétatifs, phréologiques et enfin le rendement.

La variété V1Rh⁺ a poussé avec un pourcentage élevé par rapport autres. Ensuite, nous constatons que la variété V2 a 5,3% en faveur des parcelles qui ont utilisé les graines inoculées, 4,7% pour la variété V3 et 1,3% pour la variété V1. Il a été observé que les parcelles ayant utilisé les graines inoculées ont un pourcentage élevé (soit 82,4%) que celles ayant utilisé les graines non inoculées (18,7%). Ces taux de levée sont bons car une semence viable doit avoir un pourcentage de levée supérieur à 75% (Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, Agri bio, 2013). L'étude de Bado (2002) a montré que l'usage de Rh⁺ a été indispensable par rapport aux semences non inoculées.

La hauteur moyenne des plantes du soja 30 à 120 cm en général, on s'aperçoit que l'inoculation a permis de trouver des plantes à hauteur élevée. Cette réalité est similaire à celle relatée par Krassova (1998) qui a aussi trouvé des résultats semblables en affirmant que les parcelles ayant utilisé les graines inoculées ont été améliorées par rapport à celles ayant utilisé les graines non inoculés. Pour notre expérience, nous avons trouvé que la hauteur la plus grande obtenue pour les parcelles inoculées était de 61,6 cm pour la variété V3 ; 59,4 cm pour la variété V2 et 57,6 cm pour la variété V1 et pour les parcelles non inoculées avec 54,3 cm pour la V3 ; 53,5 pour la V2 et 51 cm pour la V1.

Par rapport à tous ces paramètres morphologiques, nous constatons que le Rh⁺ a répondu favorablement à ces derniers parce que, presque toutes les parcelles inoculées ont donnés des bons résultats que celles qui ne les sont pas. De cela, nous sommes convaincus que ces résultats peuvent donner d'influence susceptible par rapport à la production en graines.

L'inoculation au rhizobium permet une augmentation de la fixation de l'azote atmosphérique par la possibilité pour les plantes de développer un grand nombre des nodules (CIRAD-GRET, 2002). Pour notre expérimentation, nous avons constaté que le nombre élevé des nodules a été obtenu sur les parcelles avec *Bradyrhizobium japonicum*, qui a amélioré significativement le nombre de nodules avec des moyennes les plus élevées que celles qui ne sont pas inoculées. Cela permet d'obtenir des plantes avec beaucoup de rendements. Ces résultats sont semblables à ceux trouvés par Malike (2013) au Benin sur l'effet de l'inoculation avec *Bradyrhizobium japonicum* et l'apport du phosphore sur la productivité de soja.

Par rapport aux différences des variétés, la variété V3 a une production élevée (0,198 tonne) en faveur de Rh⁺ suivi de V2 avec 0,191 tonne et enfin, suivi de 0,136 tonne. Cela montre que l'apport de rhizobium a des effets positifs sur le rendement de Soja. Dans le monde, le rendement moyen du grain de soja varie de 550 à 2200 Kg/ha et dans le secteur de l'agriculture à petite échelle, le rendement est généralement de 480Kg à 660Kg/ha.

Les rendements varient aussi suivant le génotype, le système de culture, le niveau de développement de l'agriculture et de l'environnement. Ils sont définis entre 0,5 t/ha et 4,5 t/ha en grande culture ; le rendement potentiel du soja étant de 3t/ha en Afrique tropicale. Il existe des cultivars qui peuvent atteindre 3500 à 5000 Kg/ha après avoir rempli toutes les conditions culturelles. Ceux-ci prouvent en suffisance que nos rendements espérés à l'hectare sont importants en utilisant le *Rhizobium japonicum*.



Conclusion

Cette étude sur " l'Effet d'inoculation du *Bradyrhizobium japonicum* sur la production du soja, cas des variétés Canada, Imperial et SB24 (Machavu) à Kiwanja" a permis de placer une expérimentation dans la localité de Kahunga avec comme objectif de déceler l'influence que peut avoir l'inoculation sur la productivité des variétés de soja mais aussi de trouver laquelle de ces variétés pourra donner des résultats escomptés. Nous avons ainsi observé les paramètres morphologiques, phénologiques, les composantes de rendement et le rendement estimé en tonne par hectare.

Partant des résultats obtenus, nous avons remarqué que l'inoculation au *Bradyrhizobium japonicum* a eu une influence significative sur la croissance et même la production de toutes les trois variétés de soja tout en signalant que c'est la variété V3 qui a bien répondu à cette inoculation que les autres. Nous pouvons ainsi dire que l'hypothèse selon laquelle l'inoculation permettrait d'accroître le rendement de soja, est acceptée en dépit des conditions climatiques qui ont prévalu au cours de notre expérience.

Références bibliographiques

- Agro bio (2013), Ministère de France de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche.
- Bado B. V. (2002), Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de PhD. Faculté des Sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université LAVAL/Québec. 197p.
- CIRAD-GRET (2002), Mémento de l'Agronome. Ministère des Affaires étrangères, 1691p.
- FAO (1999), Directives pour intégrer la durabilité de l'agriculture et du développement rural dans les politiques agricoles. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture.
- FAO (2004), Introduction : le phosphore dans le système sol – plante. In Division de la mise en valeur des terres et des eaux, FAO, Rome, Italie.
- Giller et Dashiell (2007), *Glycine max*, plant resources of Tropical Africa / Ressources Végétales de l'Afrique). Wageningen, Pays Bas.
- Houngnandan P. (2001), *Reponse of Mucuna pruriens to symbiotic nitrogen fixation by Rhizobia following inoculation in farmers' fields in the derived savanna of Benin*. Biology and Fertility of Soils, 33:416-422.
- Javaheri F., Baudouin P. (2001), Soja (*Glycine max*). Agriculture en Afrique Tropicale, (1634): 660-883.
- Krassova W. T. (1998), Etude de la photosynthèse bactérienne chez un *Bradyrhizom d'aeschynomene* : Photoactivité et caractérisation du complexe capteur de lumière. Mémoire de DEA à l'UCAD/Dakar. Sénégal.
- Lof G., Tops A., Netjes J., (1990), Le soja. Agrodok-series N°10, 1ère édition Française traduite par Evelyne codazzi page 1-7.
- Mandimba G. R. (1997), L'Inoculation : une arme contre la faim dans les pays en développement. Laboratoire de Biotechnologie. Institut de Développement Rural.
- Musakamba (2013), Institut National d'Etude et de Recherches Agronomiques, INERA-Mulungu.
- Malike (2013), Effet de l'inoculation avec *Bradyrhizobium japonicum* et l'apport du phosphore sur la productivité de soja au Benin.
- Soltiner D. (1996), Les bases de la production végétale : TOME I Le sol et son amélioration. 2^{ème} édition. Pp 82-120.