

# EFFET DE L'INOCULUM BACTERIEN DE LA SOUCHE IRAT – FA 3 DE *Bradyrhizobium Japonicum* SUR LA CROISSANCE ET LA NODULATION DE 3 VARIETES DE SOJA CULTIVEES EN COTE D'IVOIRE

B. BALLO<sup>1</sup>, L. TURQUIN<sup>1</sup> ET M. N'GBESSO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Félix HOUPOUËT-BOIGNY

<sup>2</sup>Centre national de recherche agronomique (CNRA)

## RESUME

Le soja a la capacité d'utiliser l'azote atmosphérique grâce à une association symbiotique avec les bactéries du genre *Rhizobium*. Cette étude a pour objectif de déterminer une dose d'inoculum bactérien qui permet d'améliorer significativement les paramètres de nodulation et de croissance de 3 variétés de soja cultivées en Côte d'Ivoire. L'inoculation des graines a été effectuée avec la souche IRAT-FA3 de *Bradyrhizobium japonicum* avant le semis selon un dispositif en blocs de Fisher à 5 répétitions. Les résultats obtenus ont montré que la plus grande taille des plants a été observée chez les plants inoculés (54,80 cm) de Tracaja avec 600 g d'inoculum/ha, (46,72 cm) de Doko avec 200 g et (45,68 cm) de Canarana avec 800 g. Les meilleurs rendements de masse sèche racinaire (0,92 t/ha), de biomasse sèche (14,11 t/ha) et le plus grand pourcentage de nodules actifs (68 %) ont été obtenus avec la dose 600 g d'inoculum/ha chez la variété Tracaja. Il ressort de cette étude que l'inoculation a eu un impact positif sur les paramètres de croissance et de nodulation du soja.

**Mots clés :** Soja, *Bradyrhizobium japonicum*, Canarana, Doko, Tracaja, Côte d'Ivoire

## ABSTRACT

### **EFFECT OF BACTERIAL INOCULUM OF *Bradyrhizobium japonicum* IRAT-FA 3 STRAIN ON THE GROWTH AND NODULATION OF 3 SOYBEANS VARIETIES GROWN IN COTE D'IVOIRE**

Soybean has the ability to use atmospheric nitrogen through a symbiotic association with the bacteria of the genus *Rhizobium*. This study aims to determine a bacterial inoculum dose that significantly improves the nodulation and growth parameters of 3 soybean varieties grown in Côte d'Ivoire. Seed inoculation was performed with *Bradyrhizobium japonicum* strain IRAT-FA3 prior to planting in a Fisher 5-repeat block arrangement. The results obtained showed that the largest size of the plants was observed in the inoculated plants (54.80 cm) of Tracaja with 600 g of inoculum/ha, (46.72 cm) Doko with 200 g and (45.68 cm) Canarana with 800 g. The best yields of dry root mass (0.92 t/ha), dry biomass (14.11 t/ha) and the percentage of active nodules (68 %) were obtained with the 600 g inoculum/ha dose in Tracaja variety. This study found that inoculation had a positive impact on soybean growth and nodulation parameters.

**Key words :** Soybean, *Bradyrhizobium japonicum*, Canarana, Doko, Tracaja, Côte d'Ivoire

## INTRODUCTION

Le soja [*Glycine max* (L.) Merrill] est une légumineuse alimentaire présentant de nombreux intérêts agronomiques et nutritionnels (N'Gbesso, 2002). En effet, il est actuellement la source la plus importante d'huile végétale dans le monde et une excellente source de protéines pour l'alimentation humaine et animale (Javaheri et Baudoin, 2001). La minéralisation des résidus de sa culture enrichit le sol en azote, contribuant ainsi à améliorer sa fertilité. Le soja est capable d'utiliser l'azote atmosphérique par une association symbiotique avec des bactéries du genre *Rhizobium* (Agnoro, 2008) au niveau des nodosités localisées sur le système racinaire (Vieira et al., 2010). Des études sur la culture du soja ont montré que la plupart des variétés cultivées en Côte d'Ivoire produisent peu ou pas de nodules (Kouamé et al., 2002). Or pour qu'il ait la formation des nodules et l'établissement d'une symbiose efficace entre la plante du soja et la bactérie, il faut que la souche bactérienne soit compatible à la variété hôte cultivée et présente en quantité suffisante dans le sol (N'Gbesso et al., 2010). Aussi, l'absence ou le nombre réduit des bactéries du sol serait responsable de la faible formation des nodules. Ce qui expliquerait le faible développement végétatif des plants de soja (N'Gbesso et al., 2017). Des tests d'inoculation avec la souche *Bradyrhizobium japonicum* (IRAT-FA3) à la dose de 400 g d'inoculum/ha ont permis de lever cette contrainte par l'accroissement du nombre de nodules au niveau des variétés cultivées. De plus Ama-Abina et al. (2012), ont montré que les plants issus des graines inoculées présentent un bon développement végétatif. Cependant, l'on pourrait se demander si cette dose d'inoculum permet de maximiser les paramètres symbiotiques du soja ; d'où l'intérêt de cette étude dont l'objectif est de déterminer une dose efficace d'inoculum capable d'améliorer significativement les paramètres de croissance et de nodulation des variétés de soja cultivées en Côte d'Ivoire.

## MATERIEL ET METHODES

### SITE D'ETUDE

L'essai a été mis en place à Bouaké en juillet 2017 à la Station de recherches sur les cultures vivrières du Centre national de recherche

agronomique (CNRA). La ville de Bouaké est située au centre de la Côte d'Ivoire. Ses coordonnées géographiques sont 07°46' de Latitude Nord, 005°06' de Longitude Ouest et à 376 m d'altitude. Le climat est intermédiaire entre le régime bimodal au Sud avec deux saisons de pluie et deux saisons sèches et le régime monomodal du Nord avec une saison de pluie et une saison sèche (N'Gbesso et al., 2013). Il se caractérise par des pluies abondantes réparties sur une longue saison de mai à octobre avec l'apparition de périodes sèches. Sa végétation est une transition entre la forêt et la savane (N'Zoué et al., 2003). La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 724 et 1423 mm (Soro et al., 2007) avec une température moyenne annuelle de 27 °C et une humidité de 75,6 %. Les sols de cette station expérimentale sont ferrallitiques typiques ou rajeunis, sur granite, ou des sols remaniés, avec des sous-groupes indurés, appauvris ou hydromorphes (Koné et al., 2009). Le relief se présente essentiellement sous forme de plateaux avec des altitudes variant de 200 à 500 m (Avit et al., 1999). L'essai s'est déroulé sur une parcelle ayant pour antécédent cultural l'igname.

### MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal qui a été utilisé est constitué des semences de trois variétés brésiliennes de soja (Canarana, Doko et Tracaja). Les variétés Canarana et Doko sont vulgarisées en Côte d'Ivoire depuis plus de 20 ans et Tracaja introduite en 2007, est en phase de vulgarisation (N'Gbesso et al., 2017).

### SOUCHE DE BACTERIE TESTEE

La souche de bactérie introduite IRAT-FA3 de *Bradyrhizobium japonicum* a été utilisée pour l'inoculation des semences de soja. Elle a été fournie par l'Unité de Production d'Inoculum pour Légumineuses (UPIL) de Bouaké.

### METHODES

#### Préparation de l'inoculum bactérien et inoculation

Une solution épaisse et bien concentrée a été obtenue après dissolution du saccharose dans un verre d'eau. L'inoculum bactérien conditionné sous la forme concentrée dans des sachets de 100 g de tourbe stérilisée a été versé dans la solution de sucre, puis mélangé pour obtenir une

solution homogène. Par la suite, l'inoculation des semences a été réalisée à l'abri des rayonnements solaires. Pour se faire, la méthode d'inoculation par enrobage des semences avant le semis a été utilisée. Les doses ont été de 200, 400, 600 et 800 g d'inoculum, à raison de 60 kg de semences de soja par ha. La densité de bactéries a été de  $10^9$  bactéries/gramme d'inoculum. Un semis manuel a été pratiqué immédiatement après l'inoculation, en lignes et en poquets de 3 graines, avec des écartements de 50 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets. Les parcelles témoins (D0) ont été ensemencées en premier afin d'éviter la contamination par les bactéries contenues dans l'inoculum.

### Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en blocs de Fisher à 5 répétitions. Dans ce dispositif, un total de deux facteurs ont été étudiés : le principal était représenté par l'inoculation avec cinq niveaux (D0, D1, D2, D3 et D4) et le facteur secondaire, par la variété de soja avec trois niveaux (Canarana, Doko et Tracaja). Chaque répétition comportait 15 parcelles élémentaires soit 75 parcelles élémentaires. Les traitements étudiés étaient :

- D0 : semences de soja non inoculées ou témoins ;
- D1 : semences de soja inoculées avec 200 g d'inoculum/ha ;
- D2 : semences de soja inoculées avec 400 g d'inoculum/ha ;
- D3 : semences de soja inoculées avec 600 g d'inoculum/ha ;
- D4 : semences de soja inoculées avec 800 g d'inoculum/ha.

Dans chaque bloc, la parcelle élémentaire a une largeur de 1 m et une longueur de 4 m ; soit une superficie de 4 m<sup>2</sup>. Sur la largeur, les poquets de 3 graines sont distants de 20 cm, ce qui fait 6 poquets de semis par ligne. Sur la longueur, ils sont distants de 50 cm ce qui fait 9 poquets de semis par ligne. Soit 162 plants par parcelle élémentaire correspondant à une densité de 300.000 plants/ha. La distance entre deux parcelles élémentaires est de 1 m, alors

que les blocs consécutifs ont été séparés par une allée de 1,5 m de largeur. La superficie totale de l'essai avec les bordures est de 1000 m<sup>2</sup>.

### Paramètres évalués

Aux stades de la floraison et du remplissage des gousses, les observations et mesures ont porté sur les paramètres de nodulation (nombre de nodules et efficacité des nodules) et de croissance à été évalué selon (hauteur des plants, masse sèche racinaire et de la plante entière). Pour le nombre de nodosité, les manipulations ont concerné 10 plants de soja soigneusement déterrés au hasard dans chaque parcelle élémentaire. Les racines prélevées ont été placées dans des sacs plastiques ; par la suite elles ont été débarrassées des particules terreuses pour exposer les nodules. Ceux-ci ont été séparés des racines et leur quantité déterminée par comptage. Le pourcentage des nodosités actives est le rapport entre le nombre de nodosités à coloration interne rouge et le nombre total de nodosités récoltées après incision de celles-ci. La hauteur des plants a été observée au début de la maturité des gousses sur cinq plants identifiés de façon aléatoire. Elle a été mesurée sur la tige principale du collet à la dernière feuille. Concernant le rendement en matières sèches, deux séries de collectes ont été réalisées dont l'une au stade de formation des gousses, relative aux racines et l'autre en début de maturité des gousses concernant la plante entière. Ensuite, les racines ont été séparées des nodosités et mises à sécher au soleil pendant une semaine puis pesées afin de déterminer la masse sèche racinaire. Au stade début de maturité des gousses, les plants prélevés ont été déshydratés comme précédemment pour rechercher la biomasse sèche.

### Analyses statistiques

L'effet des doses d'inoculum sur les paramètres de croissance et de nodulation du soja a été évalué à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs de classification à l'aide du logiciel Statistica version 7.1. En cas de différence significative, le test de comparaison de Duncan au seuil de 5 % a été utilisé pour classer les moyennes en groupes homogènes.

## RESULTATS

### EFFETS DE L'INOCULATION SUR LA NODULATION DES VARIETES DE SOJA

Les variétés de soja testées ont répondu très positivement à l'inoculation par une augmentation significative du nombre et de l'efficacité des nodosités chez les plants traités comparativement aux témoins.

Pour le nombre de nodules (Tableau I), la variété Canarana en a produit le plus grand nombre (49 nodules/plant). Cependant, les plus petits nombres de nodules sont obtenus chez Tracaja

et Doko (respectivement 37 et 38 nodules/plant). En ce qui concerne les interactions variétés de soja x doses d'inoculum, au niveau de la variété Canarana, l'inoculation à la dose D4 a présenté la plus grande quantité de nodosités avec 68 nodules/plant. Chez la variété Doko, c'est le traitement D1 qui a montré le nombre de nodosités le plus élevé (52 nodules/plant) tandis que pour la variété Tracaja, il a s'agit de la dose D2 qui a induit en moyenne 51 nodules/plant. Par contre, la plus faible quantité de nodosités (3 à 10 nodules/plant) a été observée chez les témoins des trois variétés de soja utilisées. La comparaison des essais entre eux montre une évolution similaire à celle observée par rapport aux témoins.

**Tableau I** : Effet de l'inoculation sur le nombre de nodules des variétés de soja.

*Effect of inoculation on number of nodules of soybean varieties.*

Variabes	Niveaux	Nombre de nodules
Variétés de soja	Canarana	49 a
	Doko	38 b
	Tracaja	37 b
Doses d'inoculum	D4	52 a
	D3	51 a
	D2	50 a
	D1	46 a
	D0	6 b
Variétés de soja x Doses d'inoculum	Canarana x D4	68 a
	Canarana x D3	59 ab
	Canarana x D2	57 ab
	Doko x D1	52 abc
	Tracaja x D2	51 abc
	Tracaja x D3	50 bc
	Canarana x D1	48 bc
	Doko x D4	46 bc
	Doko x D3	43 bc
	Doko x D2	42 bc
	Tracaja x D4	42 bc
	Tracaja x D1	37 c
	Canarana x D0	10 d
Tracaja x D0	4 d	
Doko x D0	3 d	
Moyennes		41
Coefficient de variation (%)		6,28

Les moyennes en colonnes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Duncan).

*In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5 % level of probability (Duncan's test).*

Relativement à l'efficacité des nodules (Tableau II), elle est plus importante chez la variété Tracaja (56 %). Les variétés Doko et Canarana ont présenté les plus faibles efficacités des nodules avec respectivement 40,8 et 39,2 %. S'agissant des interactions variétés de soja x doses d'inoculum, chez la variété Canarana, le traitement D2 avec 56 % a produit le plus grand nombre de nodules actifs contre 20 % pour le témoin (D0). Pour la variété Doko, le pourcentage de nodules actifs est plus élevé chez le traitement D4 (60 %), tandis que le

témoin en a présenté 16 %. Chez la variété Tracaja, les traitements D3 (68 %), D4 (64 %) et D2 (64 %) sont les plus favorables à l'accroissement de la proportion de nodules actifs contre 28 % pour le témoin (D0).

De façon générale, en comparant les traitements, ce sont les doses D2 chez Tracaja, D1 et D4 chez Doko, ainsi que D4 et D2 chez Canarana qui ont donné les meilleures nodulations (grande quantité de nodules et pourcentage élevé de nodules efficaces).

**Tableau II** : Effet de l'inoculation sur l'efficacité des nodules des variétés de soja.

*Effect of inoculation on nodule efficiency of soybean varieties.*

Variables	Niveaux	Efficacité des nodules (%)
Variétés de soja	Tracaja	56 a
	Doko	40,8 b
	Canarana	39,2 b
Doses d'inoculum	D4	56 a
	D2	54,67 a
	D1	49,33 a
	D3	45,33 a
	D0	21,33 b
Variétés de soja x Doses d'inoculum	Tracaja x D3	68 a
	Tracaja x D2	64 a
	Tracaja x D4	64 a
	Doko x D4	60 ab
	Tracaja x D1	56 ab
	Canarana x D2	56 ab
	Canarana x D1	48 abc
	Canarana x D4	44 abc
	Doko x D1	44 abc
	Doko x D2	44 abc
	Doko x D3	40 abc
	Canarana x D3	28 bc
	Tracaja x D0	28 bc
	Canarana x D0	20 c
	Doko x D0	16 c
Moyennes		45,33
Coefficient de variation (%)		6,51

Les moyennes en colonnes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Duncan).

*In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5 % level of probability (Duncan's test).*

#### INCIDENCE DE L'INOCULATION SUR LA TAILLE DES PLANTS DE SOJA

Les résultats relatifs à la taille des plants montrent que les doses d'inoculum bactérien ont influencé significativement la hauteur des trois variétés de soja (Tableau III). La variété Tracaja a présenté les plants de plus grande taille (48,38 cm) suivi à un degré moindre de la variété Doko (45,21 cm). Par contre, la variété Canarana a donné les plus petits plants avec une taille moyenne de 39,77 cm. En ce qui concerne les interactions variétés de soja x

doses d'inoculum, au niveau de la variété Canarana, la plus forte croissance a été observée avec la dose D4 (45,68 cm) contre 35,96 cm pour le témoin. Chez la variété Tracaja, pour le traitement D3 (54,80 cm), les plants ont eu une croissance proche de celle du témoin (55,04 cm). Toutefois, ces traitements ont induit les meilleures hauteurs. Pour ce qui est de la variété Doko, la hauteur des plants a été plus élevée (46,72 cm) chez les plants traités avec la dose D1 suivi de la dose D2 (46,56 cm) et du témoin (46,52 cm).

## IMPACT DES DOSES D'INOCULUM SUR LA MATIERE SECHE

Les variétés de soja testées ont dans l'ensemble

répondu positivement à l'inoculation par une augmentation plus ou moins significative de la masse sèche racinaire et de la biomasse de la plante entière.

**Tableau III** : Incidence de l'inoculation sur la taille des plants des variétés de soja.

*Incidence of inoculation on plant size of soybean varieties.*

Variables	Niveaux	Taille des plants (cm)
Variétés de soja	Tracaja	48,38 a
	Doko	45,21 a
	Canarana	39,77 b
Doses d'inoculum	D0	45,84 a
	D3	45,27 a
	D4	44,97 a
	D1	43,15 a
	D2	43,03 a
Variétés de soja x Doses d'inoculum	Tracaja x D0	55,04 a
	Tracaja x D3	54,80 a
	Tracaja x D4	47,04 ab
	Doko x D1	46,72 ab
	Doko x D2	46,56 abc
	Doko x D0	46,52 abc
	Canarana x D4	45,68 abc
	Doko x D3	44,04 bcd
	Tracaja x D1	43,24 bcd
	Doko x D4	42,20 bcd
	Tracaja x D2	41,76 bcd
	Canarana x D2	40,76 bcd
	Canarana x D1	39,48 bcd
Canarana x D3	36,96 cd	
Canarana x D0	35,96 d	
Moyennes		44,45
Coefficient de variation (%)		2,05

Les moyennes en colonnes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Duncan).

*In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5 % level of probability (Duncan's test).*

Pour la masse sèche racinaire (Tableaux IV), la variété Tracaja a produit le meilleur rendement (0,81 t/ha). Cependant, les plus faibles rendements sont obtenus chez Canarana et Doko (respectivement 0,55 et 0,46 t/ha). En ce qui concerne les interactions variétés de soja x doses d'inoculum, au niveau de la variété Canarana, les inoculations aux doses D1 et D4 ont présenté les rendements en masse sèche racinaire les plus importants avec respectivement

0,66 et 0,67 t/ha. Chez la variété Doko, ce sont les traitements D1 (0,56 t/ha) et D2 (0,51 t/ha) qui ont induit les masses sèches racinaires les plus élevées. Quant à la variété Tracaja, il s'agit de la dose D1 qui a induit en moyenne 0,92 t/ha. De plus, cette variété a mieux réagi à toutes les doses d'inoculum. Par contre, les plus faibles masses sèches racinaires ont été observées chez la variété Doko inoculée avec D4 (0,40 t/ha) et de son témoin D0 avec 0,36 t/ha.

**Tableau IV** : Impact des doses d'inoculum sur la masse sèche racinaire.*Impact of inoculum doses on the root dry mass.*

Variabes	Niveaux	Masse sèche racinaire (t/ha)
Variétés de soja	Tracaja	0,81 a
	Canarana	0,55 b
	Doko	0,46 c
Doses d'inoculum	D1	0,71 a
	D4	0,62 ab
	D2	0,6 ab
	D3	0,6 ab
	D0	0,5 b
Variétés de soja x Doses d'inoculum	Tracaja x D1	0,92 a
	Tracaja x D3	0,88 ab
	Tracaja x D4	0,80 ab
	Tracaja x D2	0,76 abc
	Tracaja x D0	0,68 bcd
	Canarana x D4	0,67 bcd
	Canarana x D1	0,66 bcd
	Doko x D1	0,56 cde
	Doko x D2	0,51cde
	Canarana x D2	0,51cde
	Canarana x D3	0,48 de
	Canarana x D0	0,46 de
	Doko x D3	0,45 de
	Doko x D4	0,40 e
	Doko x D0	0,36 e
Moyennes		0,61
Coefficient de variation (%)		4,38

Les moyennes en colonnes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Duncan).

*In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5 % level of probability (Duncan's test).*

Concernant la biomasse sèche de la plante entière (Tableau V), elle est plus importante chez la variété Tracaja (11,52 t/ha). Les variétés Doko et Canarana ont présenté les plus faibles rendements avec respectivement 6,26 et 8,43 t/ha. S'agissant des interactions variétés de soja x doses d'inoculum, chez la variété Canarana, le traitement D3 avec 10,47 t/ha a produit le plus grand rendement en

masse sèche de la plante entière. Pour la variété Doko, ce rendement est plus élevé chez le traitement D2 (8,81 t/ha), tandis que le témoin (D0) et la dose d'inoculum D3 n'ont présenté que 4,69 et 4,79 t/ha. Chez la variété Tracaja, les traitement D3 (14,18 t/ha) puis D4 (12,97 t/ha) ont été plus favorables à l'accroissement de la biomasse de la plante entière.

**Tableau V** : Influence de l'inoculation bactérienne sur la biomasse sèche de la plante entière des variétés de soja.

*Influence of bacterial inoculation on the dry biomass of the whole plant of soybean varieties.*

Variables	Niveaux	Biomasse sèche de la plante entière (t/ha)
Variétés de soja	Tracaja	11,52 a
	Canarana	8,43 b
	Doko	6,26 c
Doses d'inoculum	D3	9,79 a
	D1	9,49 a
	D4	9,07 a
	D2	8,87 a
	D0	6,46 b
Variétés de soja x Doses d'inoculum	Tracaja x D3	14,18 a
	Tracaja x D4	12,97 ab
	Tracaja x D2	11,34 abc
	Tracaja x D1	10,99 abcd
	Canarana x D3	10,47 abcde
	Doko x D1	8,81 bcdef
	Canarana x D1	8,68 bcdef
	Canarana x D4	8,45 bcdef
	Tracaja x D0	8,19 cdef
	Canarana x D2	8,08 cdef
	Doko x D2	7,20 cdef
	Canarana x D0	6,50 def
	Doko x D4	5,81 ef
	Doko x D3	4,79 f
	Doko x D0	4,69 f
Moyennes		8,74
Coefficient de variation (%)		5,21

Les moyennes en colonnes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Duncan).

*In each column, means with the similar letters are not significantly different at 5 % level of probability (Duncan's test).*

## DISCUSSION

Les essais inoculés ont produit plus de nodules sur les racines que les témoins. Les variations observées dans la production des nodosités au niveau des variétés de soja s'expliqueraient par la densité dans le sol de la population bactérienne avec laquelle elles ont été inoculées. Nos résultats sont comparables à ceux de Lecourtier (2016), qui a montré qu'une inoculation typique des graines de soja induit une augmentation de  $256 \cdot 10^9$  bactéries par are dans le sol. Les variétés de soja testées présentant une nodulation stricte, la faible présence de nodules chez les témoins serait liée à l'existence de souches de *Rhizobium* dans le sol. Ces observations confirment ceux de Mulongoy (2005), qui affirme que la nodulation est limitée par l'absence de souches efficaces de bactéries ou leur insuffisance dans le sol.

Les pourcentages de nodules actifs des variétés de soja élevés au niveau des plants inoculés dénotent d'une activité plus intense des bactéries symbiotiques. Cela s'expliquerait par le fait que les éléments essentiels dont la carence limite la nodulation, ont été apportés aux plants. Les résultats obtenus confirment ceux de Giller (2010) selon lequel le nombre de nodules efficaces est corrélé au taux élevé de fixation d'azote. Les travaux de Vilain (1997) ont également montré que l'efficacité d'une symbiose est déterminée à partir de la taille, la couleur et le nombre de nodosités ; plus la taille est importante, plus la couleur est rouge alors l'efficacité des nodosités est accrue.

L'inoculation bactérienne a amélioré de façon significative la taille des plants des variétés Canarana et Doko. Ceci serait dû à l'efficacité des nodosités de ces deux variétés de soja. Ces résultats confirment ceux de Wooster (2010) qui

affirme qu'une inoculation efficiente induit des plants de grande taille. L'absence de différences significatives au niveau de Tracaja prouve que la réponse à l'inoculation n'est pas standard. Elle fluctue donc selon les variétés de soja d'après Sika (2010). Nos résultats relatifs à Tracaja pour la taille, concordent avec ceux de Ndatbayi (2012), qui a montré que l'inoculation n'a pas d'influence sur la hauteur des plants de soja.

La biomasse est un indicateur important dans l'évolution de l'activité fixatrice d'azote atmosphérique. Les traitements ayant produit une biomasse aérienne élevée seraient dotés d'un système racinaire important. Le développement végétatif des plants de soja est aussi lié au niveau de couverture du sol grâce aux nodosités qui sont de grandes pourvoyeuses d'azote responsable d'une croissance rapide des plants. Nos résultats sont en accord avec ceux d'Issoufou *et al.* (2017) qui ont montré que la production des nodosités agit favorablement sur la production de biomasses et par conséquent, sur l'envergure et la capacité de couverture du sol par les variétés de soja. L'inoculation étant un catalyseur de la fertilisation pour l'amélioration de la biomasse du soja, la réponse des plants s'expliquerait par la quantité d'azote suffisante fournie grâce à l'inoculation pour couvrir les besoins des plantes. Nos observations confirment celles de Shukuru (2012), qui a rapporté que l'inoculation bactérienne peut être utilisée pour induire une forte production de biomasses des variétés de soja.

## CONCLUSION

Cette étude a montré que l'inoculation bactérienne améliore la croissance et la nodulation des plants de soja ; ce qui s'est traduit par la taille plus élevée des plants inoculés par rapport à celle des témoins. Mais, cette amélioration des paramètres de croissance et de nodulation est liée à la fois à la variété de soja et à la densité de la population bactérienne édaphique. Ainsi, la variété Tracaja a répondu le plus favorablement à la dose de 600 g d'inoculum/ha suivie de la variété Canarana (800 g d'inoculum/ha) puis de Doko (200 g d'inoculum/ha). D'autres recherches sont cependant, nécessaires pour évaluer d'autres souches de *Rhizobium* sur un nombre plus élevé de variétés de soja afin d'en identifier les plus efficientes.

## REFERENCES

- Agnoro M. 2008. Effet de l'inoculation avec «*Bradyrhizobium japonicum*» et de l'apport de phosphore sur la productivité du soja (*Glycine max*) en champs paysans au Bénin. *Oléoscope*, 66 : 27 - 28.
- Ama-Abina T. J., G. F. Beugre, M. F. N'Gbesso, N. D. Brou et G. R. Yoro., 2012. Effets d'un herbicide et de l'inoculation sur les facteurs de rendement du soja cultivé sur un sol gravillonnaire de plateau. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6 (5) : 1970 - 1978.
- Avit J. B., P. L. Pedia et Y. Sankaré. 1999. Diversité Biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport de synthèse, Ministère de l'Environnement et de la Forêt 273 p.
- Giller K. E., 2010. Putting nitrogen fixation to work for smallholder farmers in Africa. N<sub>2</sub> Africa project document. Wageningen University, The Netherlands, 67 p.
- Issoufou H. O., S. Boubacar, T. Adam et Y. Boubacar. 2017. Identification des insectes, parasites et évaluation économique de leurs pertes en graines sur les variétés améliorées et locale de niébé en milieu paysan à Karma. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (2) : 694 - 706.
- Javaheri F. et J. P. Baudouin. 2001. Le soja (*Glycine max* L. Merrill.), Agriculture en Afrique Tropicale, DGCI, Bruxelles, Belgique (1634) : 660 - 883.
- Koné B., S. Diatta, S. Oikeh, Y. Gballou, M. Camara, D. D. Dohm et A. Assa. 2009. Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur : Usage de la couleur en morphopédologie. *Canadian Journal of Soil Science*, 89(3) : 331 - 342.
- Kouamé N. C., L. Fondio, A. H. Djidji et M. F. P. N'Gbesso. 2002. Rapport d'activités de recherche pour le développement de la culture du soja dans les zones Centre et Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. Convention CNRA-PROJET PACIL, 105 p.
- Lecourtier M., 2016. L'inoculation, clé du développement ? Cultivar 18 p.
- Mulongoy K., 2005. Biological nitrogen fixation. Technical paper 2, South Dakota State University, 13 p.
- N'Gbesso M. F., A. S. P N'guetta, N. Kouamé et B. K. Foua. 2010. Evaluation de l'efficience de l'inoculation des semences chez 11 géno-

- types de soja (*Glycine max* L. Merrill) en zone de savane de Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature*, 7 (1) : 59 - 67.
- N'Gbesso M. F. 2002. Planification des programmes de deuxième génération. Légumineuses vivrières. Rapport d'activités CNRA, 80 p.
- N'Gbesso M. F., G. P. Zohouri, L. Fondio, A. H. Djidji et D. Konate. 2013. Etude des caractéristiques de croissance et de l'état sanitaire de six variétés améliorées de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en zone centre de Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(2) : 457 - 467.
- N'Gbesso M. F., L. Fondio, N. D. Coulibaly et N. C. Kouamé. 2017. Efficacité symbiotique de cinq souches locales de rhizobiums sur les paramètres de croissance du soja. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 11(5) : 2327 - 2340.
- N'Zoué A., C. Kouame, F. Mondeil et M. N'Gbesso, 2003. Analyse agro-morphologique de deux lignées de soja (*Glycine max* L. MERR), *Agronomie Africaine* 15 (3) : 93 - 104.
- Ndatabayi M. 2012. Réponse de trois variétés exotiques de Soja (*Glycine max*) à l'inoculation avec le *Rhizobium* sans limitation de phosphore et de potassium à Mudaka, territoire de Kabare (République Démocratique du Congo). Mémoire de fin d'études, UCB/Bukavu, inédit : 45 p.
- Shukuru L. 2012. Réponse de 9 variétés exotiques de soja à l'inoculation par *Rhizobium japonicum* sans limitation du phosphore et du potassium à Murhesa (République Démocratique du Congo). Mémoire de fin d'études, U.C.B/Bukavu, inédit : 55 p.
- Sika E. 2010. Réponse de 5 variétés naines de haricot commun et de soja à l'inoculation sans limitation du phosphore et du potassium : Cas du Territoire de Kabare et de Walungu (République Démocratique du Congo). Mémoire de fin d'études, U.C.B/Bukavu, inédit : 68 p.
- Soro S., M. Doumbia, D. Dao, A. Tschannen et O. Girardin. 2007. Performance de six cultivars de tomate *Lycopersicon esculentum* (Mill.) contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences et Nature*, 4(2) : 123 - 130.
- Vieira R. F., I. Mendes, F. B. Res-Junior et M. Hungria. 2010. Symbiotic Nitrogen Fixation in Tropical Food Grain Legume: Current Status. *Microbes for Legume Improvement* 427 p.
- Vilain M. 1997. La production végétale, volume 1, les composantes de la production, 3<sup>e</sup> Ed, Flamme, 478 p.
- Woomer P. 2010. Biological Nitrogen fixation and Grain Legume Enterprise: Guidelines for N<sub>2</sub> Africa Master Farmers. TSBF-CIAT. Nairobi, 17 p.